

19 European Patent Office

[bar code]

11

EP 0 862 794 B1

12

## EUROPEAN PATENT SPECIFICATION

- 45 Date of publication and mention of the grant of the patent:  
27 Nov 2002; Patent Gazette 2002/48
- 21 Application number: 97909167.5
- 22 Application date: 22 Sep 1997
- 51 Int. Cl.<sup>7</sup>: H01L 33/00, H01S 5/32
- 86 International application number:  
PCT/DE97/02139
- 87 International publication number:  
WO 98/012757 (26 Mar 1998; Gazette 1998/12)

54 WAVELENGTH-CONVERTING ENCAPSULATING COMPOUND AND METHOD FOR PRODUCTION OF SAME, METHOD FOR PRODUCTION OF A LIGHT-EMITTING SEMICONDUCTOR DEVICE, AND LIGHT-EMITTING SEMICONDUCTOR DEVICE

- |  |   |
|--|---|
| 84 Named contracting states:<br>DE ES FR GB PT SE                                  | • DEBRAY, Alexandra<br>D93049 Regensburg (DE)   |
| 30 Priority: 20 Sep 1996; DE 19638667  | • SCHLOTTER, Peter<br>D-79113 Freiburg (DE)   |
| 43 Date of publication of the application:<br>09 Sep 1999; Patent Gazette 1998/37  | • SCHMIDT, Ralf<br>D-79279 Vörstetten (DE)  |
| 60 Divisional application:<br>02007512.3 / 1221724                                 | • SCHNEIDER, Jürgen<br>D-79199 Kirchzarten (DE)   |
| 73 Patent owner: Osram Opto Semiconductors GmbH & Co. OHG<br>93049 Regensburg (DE) | 74 Agent: Epping, Wilhelm, Dipl.-Ing. et al.<br>Epping Hermann & Fischer<br>Ridlerstrasse 55<br>80339 Munich (DE) |
| 72 Inventors:<br>• HÖHN, Klaus<br>D-82024 Taufkirchen (DE)                         | 56 References cited in opposition:<br>EP A 0936682 WO A 98/05078<br>DE A 3804293 DE U 9013615                     |

Reminder: Within a period of nine months counting from the date of publication of the mention of the grant of the European patent, any person can file notice of opposition to the granted European patent with the European Patent Office. The notice of opposition must be filed in writing and supported by reasoned arguments. It will be deemed to have been filed only after payment of the opposition fee (Art. 99(1) of the European Patent Convention).

## Description

[0001] The invention relates to a wavelength-converting encapsulating compound based on a transparent epoxy casting resin, especially for use in an electroluminescent device containing a chip that emits ultraviolet, blue and/or green light, and to a method for production of same. It further relates to a method for production of a light-emitting semiconductor device and to a light-emitting semiconductor device.

[0002] In International Application WO A 98/05078 (EP A 0936682), with EP designation, which was filed before but published after the application date of the present application and which represents the prior art pursuant to Articles 54(3) and (4) EPC, there is described a light-emitting-diode device in which a light-emitting-diode chip having an emission spectrum in the ultraviolet, blue and green region of the spectrum is embedded in a transparent encapsulating compound, which contains inorganic phosphor pigments based on Ce-doped yttrium garnet ( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$ ).

[0003] From German Unexamined Application 3804293 there is known an arrangement containing an electroluminescent or laser diode, in which the emission spectrum emitted by the diode is shifted to longer wavelengths by means of a plastic element in which there is mixed a fluorescent, light-converting organic dye. Thereby the light emitted by the arrangement has a color different from that emitted by the light-emitting diode. Depending on the type of dye admixed with the plastic, light-emitting diode arrangements emitting in different colors can be produced with one and the same type of light-emitting diode.

[0004] In many potential areas of application for light-emitting diodes, such as in display elements in motor-vehicle instrument panels, lighting in aircraft and automobiles and in full-color LED displays, there is an increasing need for light-emitting diode arrangements with which mixed-color light, especially white light, can be generated.

[0005] However, the encapsulating compounds of the type mentioned hereinabove and known heretofore, containing organic phosphors, exhibit a shift of color location and thus also of the color of the light emitted by the electroluminescent device when they are exposed to temperature and temperature/humidity stress.

[0006] Japanese Patent 07-176794 A describes a planar white-light-emitting source, wherein two blue-light-emitting diodes are disposed at one end face of a transparent plate and emit light into the transparent

plate. The transparent plate is coated on one of the two main faces disposed opposite one another with a fluorescent substance, which emits light when excited with the blue light of the diodes. The light emitted by the fluorescent substance has a wavelength different from that of the blue light emitted by the diodes. In this known device, it is particularly difficult to apply the fluorescent substance in such a manner that the light source emits homogeneous white light. Furthermore, reproducibility in mass production also encounters major problems, because even small fluctuations in thickness of the fluorescent coating, due to unevennesses of the surface of the transparent plate, for example, cause a change in the white hue of the emitted light.

[0007] The object of the present invention is to develop an encapsulating compound of the type mentioned hereinabove, with which compound there can be produced electroluminescent devices that emit homogeneous mixed-color light and which permits mass production with reasonable industrial expense and with largely reproducible device characteristics. Another object is that the emitted light have stable color under temperature and temperature/humidity stress. Yet another object is to provide a method for producing this encapsulating compound.

[0008] This object is achieved by an encapsulating compound having the features of claim 1 and by a method having the features of claim 9. A method for production of a light-emitting semiconductor device and a light-emitting semiconductor device are the subject matters of claims 20 and 21 respectively.

[0009] Advantageous improvements of the encapsulating compound, of the method for production of the encapsulating compound and of the light-emitting device are the subject matters of dependent claims 2 to 8, 10 to 19 and 22 to 25 respectively.

[0010] According to the invention, it is provided that an inorganic/mineral phosphor pigment powder based on a garnet host lattice of general formula  $\text{A}_3\text{B}_5\text{X}_{12}:\text{M}$  is dispersed in the transparent epoxy casting resin and that the phosphor pigment has particle sizes of  $\leq 20 \mu\text{m}$  and a mean particle diameter  $d_{50}$  of  $\leq 5 \mu\text{m}$ . Particularly preferably, the mean particle diameter  $d_{50}$  ranges between 1 and  $2 \mu\text{m}$ . Favorable manufacturing yields can be obtained with these particle sizes.

[0011] Inorganic/mineral phosphors are advantageously extremely stable with regard to temperature and temperature/humidity.

[0012] In a particularly preferred improvement of the inventive encapsulating compound, this is composed of:

- a) epoxy casting resin  $\geq 60$  wt%
- b) phosphor pigments  $\leq 25$  wt%
- c) thixotropic agents  $\leq 10$  wt%
- d) mineral diffusor  $\leq 10$  wt%
- e) processing adjuvant  $\leq 3$  wt%
- f) hydrophobing agent  $\leq 3$  wt%
- g) adhesion promoter  $\leq 2$  wt%.

[0013] Suitable epoxy casting resins are described, for example, in German Unexamined Application 2642465 on pages 4 to 9, especially Examples 1 to 4, and in European Patent 0039017 on pages 2 to 5, especially Examples 1 to 8.

[0014] As thixotropic agent there is used, for example, pyrogenic silica. The thixotropic agent is used for thickening the epoxy casting resin, in order to prevent sedimentation of the phosphor pigment powder. Furthermore, the flow and wetting properties are adjusted for processing of the casting resin.

[0015] Preferably  $\text{CaF}_2$  is used as the mineral diffusor for optimizing the luminescent pattern of the device.

[0016] Glycol ether, for example, is suitable as a processing adjuvant. It improves compatibility between epoxy casting resin and phosphor pigment powder and thus serves to stabilize the dispersion of phosphor pigment powder and epoxy casting resin. Silicone-base surface modifiers can also be used for this purpose.

[0017] The hydrophobing agent, such as liquid silicone wax, also functions to modify the pigment surface. In particular, the compatibility and wettability of the inorganic pigment surface with the organic resin are improved.

[0018] The adhesion promoter, such as functional alkoxysiloxane, improves adhesion between the pigments and the epoxy resin in the cured condition of the encapsulating compound. Thereby it is ensured that the interface between the epoxy resin and the pigments does not separate, for example during temperature fluctuations. Gaps between the epoxy resin and the pigments would lead to light losses in the device.

[0019] The epoxy casting resin, preferably containing a reactive three-membered oxirane ring, preferably contains a monofunctional and/or a multifunctional epoxy casting resin system ( $\geq 80$  wt%; for example, bisphenol A diglycidyl ether), a reactive diluent ( $\leq 10$  wt%; for example aromatic monoglycidyl ether), a multifunctional alcohol ( $\leq 5$  wt%), a silicone-base degassing agent ( $\leq 1$  wt%) and a decolorizing agent for adjustment of the color index ( $\leq 1$  wt%).

[0020] In a particularly preferred improvement of the encapsulation, the phosphor pigments are spherical or flaky. The tendency of such pigments to form agglomerates is advantageously very slight. The  $\text{H}_2\text{O}$  content is less than 2%.

[0021] In the production and processing of epoxy casting resin devices with inorganic phosphor pigment powders, sedimentation problems generally occur in addition to wetting problems. In particular, phosphor pigment powders with  $d_{50} \leq 5 \mu\text{m}$  have a strong tendency to agglomerate formation. In the last-mentioned composition of the encapsulating compound, the phosphor pigments having the particle size indicated hereinabove can advantageously be dispersed in the epoxy casting resin in a manner that is substantially free of agglomeration and is also homogeneous. This dispersion is stable even after prolonged storage of the encapsulating compound. Substantially no wetting and/or sedimentation problems occur.

[0022] Particles from the group of Ce-doped garnets, especially YAG:Ce particles, are used particularly preferably as phosphor pigments. An advantageous dopant concentration is 1%, for example, and an advantageous phosphor concentration is 12%, for example. Furthermore, the phosphor pigment powder, which preferably is highly pure, advantageously has an iron content of  $\leq 5$  ppm. A high iron content leads to excessive light losses in the device. The phosphor pigment powder is highly abrasive. The Fe content of the encapsulating compound can therefore increase considerably during production thereof. Advantageously, Fe contents in the encapsulating compound are  $< 20$  ppm.

[0023] The inorganic YAG:Ce phosphor has the special advantage among others that it is an insoluble colored pigment with a refractive index of about 1.84. Thereby dispersion and scattering effects are achieved in addition to wavelength conversion, leading to good mixing of blue diode radiation and yellow converter radiation.

[0024] It is further particularly advantageous that, when inorganic phosphor pigments are used, the phosphor concentration in the epoxy resin is not limited by solubility, as is the case with organic dyes.

[0025] For further reduction of agglomerate formation, the phosphor pigments can be advantageously provided with a silicone coating.

[0026] In a preferred method for production of an inventive encapsulating compound, the phosphor pigment powder is heat-treated, for about 10 hours at a temperature of  $\geq 200^\circ\text{C}$ , for example, before being

mixed with the epoxy casting resin. Thereby the tendency to agglomerate formation can also be reduced.

[0027] Alternatively, or in addition, the phosphor pigment powder can be slurried in a high-boiling alcohol and then dried before being mixed with the epoxy casting resin. A further possibility of reducing agglomerate formation comprises adding a hydrophobing silicone wax to the phosphor pigment powder before it is mixed with the epoxy casting resin. It is particularly advantageous to stabilize the surface of the phosphor by heating the pigment, for 16 hours at  $T > 60^{\circ}\text{C}$ , for example, in the presence of glycol ethers.

[0028] To avoid interfering impurities resulting from abraded material during dispersion of the phosphor pigments, there are used reaction vessels, stirring and dispersing apparatus as well as roll mills made of glass, corundum, carbide and nitride materials as well as specially hardened steel grades. Agglomerate-free phosphor dispersions are also obtained in ultrasonic methods or by the use of sieves and sintered glass-ceramic plates.

[0029] A particularly preferred inorganic phosphor for the production of white-light-emitting optoelectronic devices is the YAG:CE phosphor ( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ ). This can be admixed in a particularly simple way in transparent epoxy casting resins used conventionally in LED technology. Also conceivable as phosphors are further garnets doped with rare earths, such as  $\text{Y}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Y}(\text{Al,Ga})_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$  and  $\text{Y}(\text{Al,Ga})_5\text{O}_{12}:\text{Tb}^{3+}$ .

[0030] Furthermore, the thiogallates doped with rare earths, such as  $\text{CaGa}_2\text{S}_4:\text{Ce}^{3+}$  and  $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Ce}^{3+}$ , are particularly suitable for generation of mixed-color light. Likewise, the use of aluminates doped with rare earths, such as  $\text{YAlO}_3:\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{YGaO}_3:\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Y}(\text{Al,Ga})\text{O}_3:\text{Ce}^{3+}$  and orthosilicates  $\text{M}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$  (M: Sc, Y, Sc) doped with rare earths, such as  $\text{Y}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$ , is conceivable for this purpose. In all yttrium compounds, the yttrium can also be replaced in principle by scandium or lanthanum.

[0031] The inventive encapsulating compound will be preferably used in a radiation-emitting semiconductor chip, especially containing an active semiconductor layer or sequence of layers of  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$  or  $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ , which chip emits electromagnetic radiation in the ultraviolet, blue and/or green region of the spectrum during operation. The phosphor particles in the encapsulating compound convert part of the radiation originating from this region of the spectrum into radiation of longer wavelength, to the effect that the semiconductor device emits mixed radiation, especially mixed-color light, consisting of this radiation together

with radiation from the ultraviolet, blue and/or green region of the spectrum. This means, for example, that the phosphor particles spectrally absorb part of the radiation emitted by the semiconductor chip selectively, then emit it in the longer-wavelength region. Preferably the radiation emitted by the semiconductor chip has a relative intensity maximum at a wavelength  $\lambda$  of  $\leq 520$  nm, and the wavelength region spectrally absorbed selectively by the phosphor particles is located outside this intensity maximum.

[0032] Likewise, a plurality of diverse phosphor-particle types emitting at different wavelengths can be advantageously dispersed in the encapsulating compound. This is preferably achieved by different dopings in different host lattices. Thereby it is advantageously possible to generate diverse color mixtures and color temperatures of the light emitted by the device. This is of particular interest for full color LEDs.

[0033] In a preferred use of the inventive encapsulating compound, a radiation-emitting semiconductor chip (such as an LED chip) is encased at least partly by this compound. In this case, the encapsulating compound is preferably used simultaneously as a device envelope (housing). The advantage of a semiconductor device according to this embodiment lies essentially in the fact that conventional production lines used for the manufacture of conventional light-emitting diodes (such as radial light-emitting diodes) can be used for production thereof. Instead of the transparent plastic used for this purpose in conventional light-emitting diodes, merely the encapsulating compound is used as the device envelope.

[0034] By means of the inventive encapsulating compound, it is also possible in simple manner to generate mixed-color light, especially white light, with a single colored light source, especially a light-emitting diode containing a semiconductor chip that emits a single blue light. As an example, in order to generate white light with a semiconductor chip that emits blue light, part of the radiation emitted by the semiconductor chip is converted by means of inorganic phosphor particles from the blue spectral region into the yellow spectral region, which is the complementary color of blue.

[0035] In this case, the color temperature or color location of the white light can be varied by appropriate choice of a phosphor and of the particle size and concentration thereof. Furthermore, phosphor mixtures can also be used, whereby the desired hue of the

emitted light can be advantageously adjusted very accurately.

[0036] The encapsulating compound is used particularly preferably in a radiation-emitting semiconductor chip in which the emitted radiation spectrum has an intensity maximum at a wavelength of between 420 nm and 460 nm, especially at 430 nm (example of a semiconductor chip based on  $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ ) or 450 nm (example of a semiconductor chip based on  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ ). Almost all colors and mixed colors of the C.I.E. chromaticity diagram can be advantageously generated with such a semiconductor device. However, a different electroluminescent material, such as polymer material, can also be used instead of the radiation-emitting semiconductor chip of electroluminescent semiconductor material.

[0037] The encapsulating compound is particularly suitable for a light-emitting semiconductor device (such as a light-emitting diode) in which the electroluminescent semiconductor chip is disposed in a recess of a prefabricated housing, which if necessary is already equipped with a lead frame, and the recess is equipped with the encapsulating compound. Such a semiconductor device can be manufactured in large numbers in conventional production lines. For this purpose, it is merely necessary to fill the encapsulating compound into the recess after the semiconductor chip has been mounted in the housing.

[0038] A white-light-emitting semiconductor device can be advantageously manufactured with the inventive encapsulating compound by choosing the phosphor such that blue radiation emitted by the semiconductor chip is converted to complementary wavelength regions, especially blue and yellow, or to additive color triads, such as blue, green and red. In this case, the yellow or the green and red light is generated via the phosphors. The hue (color location in the CIE chromaticity diagram) of the white light generated thereby can then be varied by appropriate choice of the phosphor or phosphors with regard to mixing and concentration.

[0039] In an advantageous configuration, in order to improve the intimate mixing of the radiation emitted by an electroluminescent semiconductor chip with the radiation converted by the phosphor, and thus to improve the color homogeneity of the light emitted by the device, a dye that luminesces in the blue is further added to the inventive encapsulating compound, thus attenuating the directional characteristic of the radiation emitted by the semiconductor chip. Directional characteristic means that the radiation emitted by the semiconductor chip has a preferred emission direction.

[0040] An inventive white-light-emitting semiconductor device containing an electroluminescent semiconductor chip that emits blue light can be achieved particularly preferably by admixing the YAG:Ce inorganic phosphor ( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ ) with the epoxy resin used for the encapsulating compound. Part of the blue radiation emitted by the semiconductor chip is shifted by the  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$  inorganic phosphor into the yellow spectral region and thus into a wavelength region of color complementary to the color blue. The hue (color location in the CIE chromaticity diagram) of the white light can then be varied by appropriate choice of the dye concentration.

[0041] Light-scattering particles known as diffusors can also be added to the encapsulating compound. Hereby the color appearance and the emission characteristics of the semiconductor device can be advantageously further optimized.

[0042] By means of the inventive encapsulating compound, even ultraviolet radiation emitted by an electroluminescent semiconductor chip along with the visible radiation can be advantageously converted to visible light. Thereby the brightness of the light emitted by the semiconductor chip is distinctly increased.

[0043] A special advantage of inventive white-light-emitting semiconductor devices in which YAG:Ce in particular is used as the luminescence-conversion dye is that this phosphor produces a spectral shift of about 100 nm between absorption and emission when excited with blue light. This leads to a substantial reduction of reabsorption of the light emitted by the phosphor and therefore to a higher light yield. Moreover, YAG:Ce advantageously has high thermal and photochemical (such as UV) stability (substantially higher than that of organic phosphors), and so white-light-emitting diodes can also be manufactured for outside use and/or high-temperature zones.

[0044] Heretofore YAG:Ce has proved to be the most suitable phosphor in terms of reabsorption, light yield, thermal and photochemical stability and processability. Nevertheless, the use of other Ce-doped phosphors is also conceivable, especially Ce-doped garnet types.

[0045] The wavelength conversion of the primary radiation is determined by the crystal-field splitting of the active transition metal centers in the host lattice. By substituting Gd and/or Lu for Y and Ga for Al in  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$  garnet lattices, the emission wavelengths can be shifted in various ways. This can also be achieved by the type of doping. Corresponding shifts can be produced by substituting  $\text{Eu}^{3+}$  and/or  $\text{Cr}^{3+}$  for  $\text{Ce}^{3+}$  centers. Corresponding doping with  $\text{Nd}^{3+}$  and  $\text{Er}^{3+}$  even

permits IR-emitting devices, by virtue of the larger ionic radii and thus smaller crystal-field splitting.

[0046] Further features, advantages and functionalities of the invention will become evident from the description hereinafter of two practical examples in connection with Figs. 1 to 8, wherein:

Fig. 1 shows a schematic sectional view of a first semiconductor device containing an inventive encapsulating compound;

Fig. 2 shows a schematic sectional view of a second semiconductor device containing an inventive encapsulating compound;

Fig. 3 shows a schematic sectional view of a third semiconductor device containing an inventive encapsulating compound;

Fig. 4 shows a schematic sectional view of a fourth semiconductor device containing an inventive encapsulating compound;

Fig. 5 shows a schematic sectional view of a fifth semiconductor device containing an inventive encapsulating compound;

Fig. 6 shows a schematic diagram of an emission spectrum of a blue-light-emitting semiconductor chip having a layer sequence on the basis of GaN;

Fig. 7 shows a schematic diagram of the emission spectra of two semiconductor devices that contain an inventive encapsulating compound and emit white light, and

Fig. 8 shows a schematic diagram of the emission spectra of further semiconductor devices that emit white light.

[0047] In the various figures, like parts or parts with like effects are always represented by the same reference numerals.

[0048] In the light-emitting semiconductor device of Fig. 1, semiconductor chip 1, via its back-side contact 11, is fixed by means of an electrically conductive binder such as a metallic solder or an adhesive onto a first electrical terminal 2. Front-side contact 12 is connected by means of a bond wire 14 to a second electrical terminal 3.

[0049] The unattached surfaces of semiconductor chip 1 and partial areas of electrical terminals 2 and 3 are directly enclosed by a cured, wavelength-converting encapsulating compound 5. This is preferably composed of: epoxy casting resin 80 to 90 wt%, phosphor pigment (YAG:Ce)  $\leq 15$  wt%, diethylene

glycol monomethyl ether  $\leq 2$  wt%, Tegopren 6875-45  $\leq 2$  wt%, Aerosil 200  $\leq 5$  wt%.

[0050] The practical example of an inventive semiconductor device illustrated in Fig. 2 differs from that of Fig. 1 by the fact that semiconductor chip 1 and partial areas of electrical terminals 2 and 3 are enclosed by a transparent envelope 15 instead of by a wavelength-converting encapsulating compound. This transparent envelope 15 does not cause any change in wavelength of the radiation emitted by semiconductor chip 1, and it is composed, for example, of an epoxy, silicone or acrylate resin used conventionally in the art of light-emitting diodes or of another suitable material, such as inorganic glass, that is transparent to radiation.

[0051] On this transparent envelope 15 there is applied a layer 4 of wavelength-converting encapsulating compound that, as illustrated in Fig. 2, covers the entire surface of envelope 15. It is also conceivable that layer 4 covers only a partial area of this surface. Layer 4 is composed, for example, of a transparent epoxy resin with which phosphor particles 6 are mixed. In this case also, YAG:Ce is preferably suitable as the phosphor for a white-light-emitting semiconductor device.

[0052] In the particularly preferred device provided with the inventive encapsulating compound and illustrated in Fig. 3, first and second electrical terminals 2, 3 are embedded in an opaque base housing 8, which if necessary is prefabricated and has a recess 9. "Prefabricated" is to be understood as meaning that base housing 8 is already formed in finished condition at terminals 2, 3, for example by means of injection molding, before the semiconductor chip is mounted on terminal 2. Base housing 8 is composed, for example, of an opaque plastic, and recess 9 is shaped as a reflector 17 for the radiation emitted by the semiconductor chip during operation (if necessary, by appropriate coating of the inside walls of recess 9). Such base housings 8 are used in particular in light-emitting diodes surface-mounted on printed-circuit boards. Prior to mounting of the semiconductor chip, they are attached, for example by injection molding, to a conductor strip (lead frame) provided with electrical terminals 2, 3.

[0053] Recess 9 is filled with an encapsulating compound 5, whose composition corresponds to that indicated hereinabove in connection with the description of Fig. 1.

[0054] Fig. 4 illustrates a radial diode. In this case electroluminescent semiconductor chip 1 is fixed in a part 16 of first electrical terminal 2 designed as a reflector, for example by means of soldering or

adhesive bonding. Such housing structures are known in the art of light-emitting diodes and therefore need no more detailed explanation.

[0055] The unattached surfaces of semiconductor chip 1 are directly covered by an encapsulating compound 5 containing phosphor particles 6, which compound in turn is surrounded by a further transparent envelope 10.

[0056] For completeness, it must be remarked at this place that a one-piece envelope composed of cured encapsulating compound 5 containing phosphor particles 6 can obviously be used in the construction according to Fig. 4, by analogy with the device according to Fig. 1.

[0057] In the practical example of Fig. 5, a layer 4 (possible materials as indicated hereinabove) is applied directly on semiconductor chip 1. This and partial areas of electrical terminals 2, 3 are enclosed by a further transparent envelope 10, which does not cause any change of wavelength of the radiation passing through layer 4 and, for example, is composed of a transparent epoxy resin that can be used in the art of light-emitting diodes, or of glass.

[0058] Such semiconductor chips 1 provided with a layer 4 without envelope can naturally be used advantageously in all housing structures, such as SMD housings and radial housings (compare with Fig. 4) known from the art of light-emitting diodes.

[0059] In all of the devices described hereinabove, encapsulating compound 5, if necessary transparent envelope 15 and/or if necessary further transparent envelope 10 can contain light-scattering particles, advantageously those known as diffusors, for the purpose of optimizing the color appearance of the emitted light and of adapting the emission characteristics. Examples of such diffusors are mineral fillers, especially  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$  or  $\text{BaSO}_4$  or even organic pigments. These materials can be added in simple manner to epoxy resins.

[0060] Figs. 6, 7 and 8 show emission spectra of a blue-light-emitting semiconductor chip (Fig. 6) (luminescence maximum at  $\lambda \sim 430$  nm) and of semiconductor devices that emit white light produced by means of such a semiconductor chip (Figs. 7 and 8). In each case, the abscissa represents the wavelength  $\lambda$  in nm and the ordinate represents a relative electroluminescence (EL) intensity.

[0061] Only part of the radiation according to Fig. 6 that is emitted by the semiconductor chip is converted to a longer wavelength region, and so white light is produced as a mixed color. Broken line 30 in Fig. 7 represents an emission spectrum of a semiconductor

device that emits radiation from two complementary wavelength regions (blue and yellow), which radiation is therefore white light on the whole. In this case, the emission spectrum has one maximum at wavelengths between about 400 and about 430 nm (blue) and a second maximum at between about 550 and about 580 nm (yellow). Solid line 31 represents the emission spectrum of a semiconductor device that produces white color by mixing three wavelength regions (additive color triad of blue, green and red). In this case the emission spectrum has one maximum at each of three wavelengths, for example about 430 nm (blue), about 500 nm (green) and about 615 nm (red).

[0062] Fig. 8 shows an emission spectrum of a white-light-emitting semiconductor device provided with a semiconductor chip emitting an emission spectrum according to Fig. 6 and containing YAG:Ce as the phosphor. Only part of the radiation according to Fig. 6 that is emitted by the semiconductor chip is converted to a longer wavelength region, and so white light is produced as a mixed color. The differently dashed lines 30 to 33 of Fig. 8 represent emission spectra of inventive semiconductor devices in which the epoxy resin of encapsulating compound 5 has different YAG:Ce concentrations. Each emission spectrum has one intensity maximum between  $\lambda = 420$  nm and  $\lambda = 430$  nm, or in other words in the blue region of the spectrum, and another between  $\lambda = 520$  nm and  $\lambda = 545$  nm, or in other words in the green region of the spectrum. In this case, the emission bands having the longer-wavelength intensity maximum are located largely in the yellow region of the spectrum. The diagram of Fig. 8 illustrates that the CIE color location of the white light can be varied in simple manner in the inventive semiconductor device by varying the phosphor concentration in the epoxy resin.

[0063] Naturally the explanation of the invention on the basis of the devices described hereinabove is not to be construed as restricting the invention thereto. For example, a polymer LED that emits a corresponding radiation spectrum is also to be understood as the semiconductor chip, in the form, for example, of light-emitting diode chips or laser-diode chips.

[See original for claims in English]

FIG 1

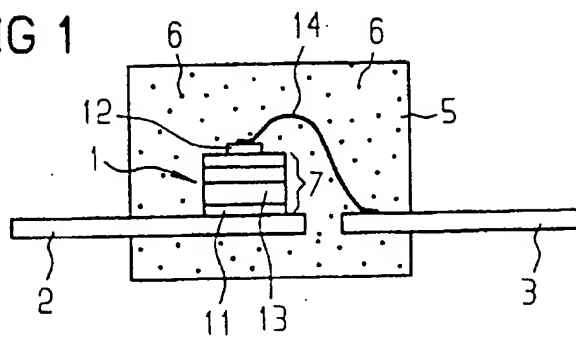


FIG 2

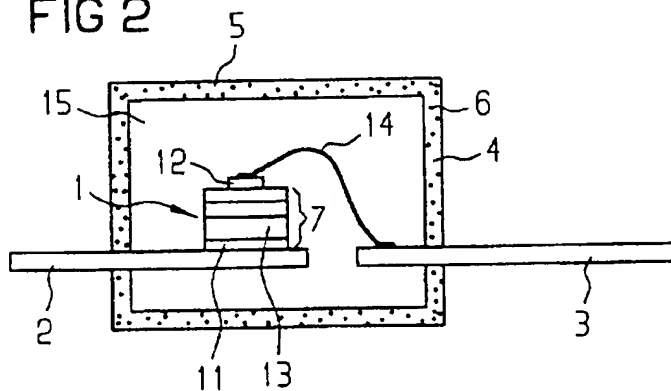


FIG 3

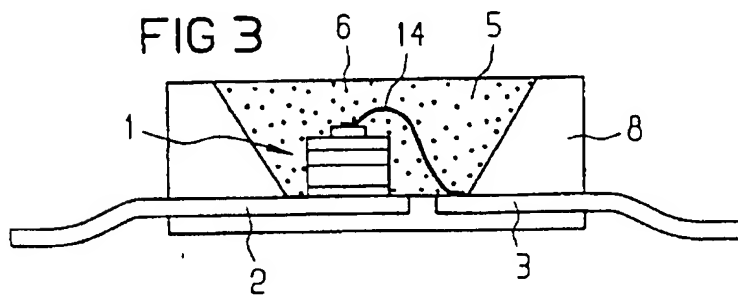




FIG 4

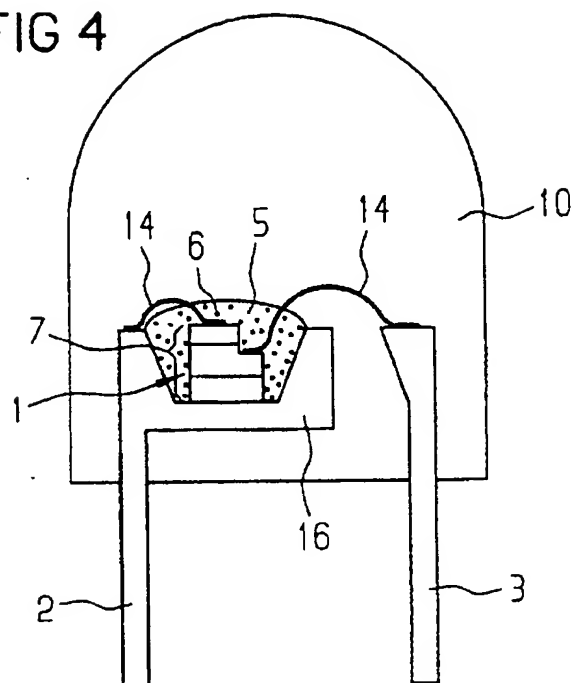
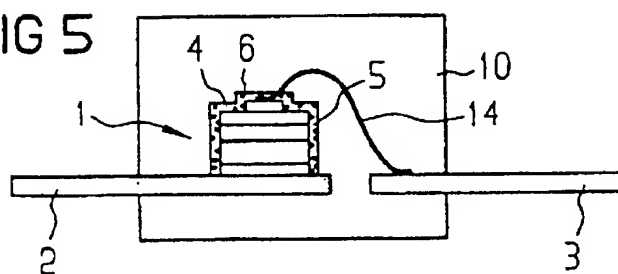
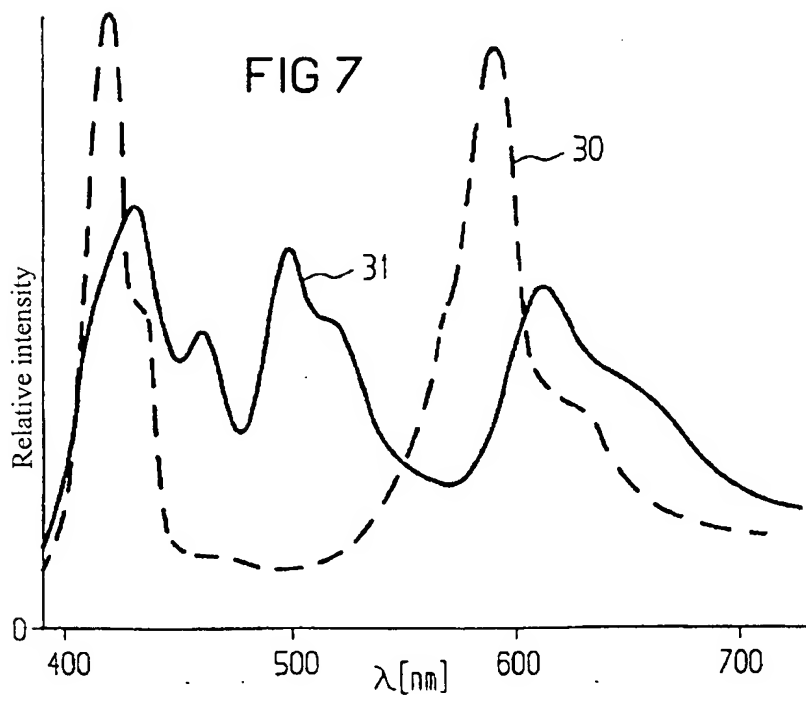
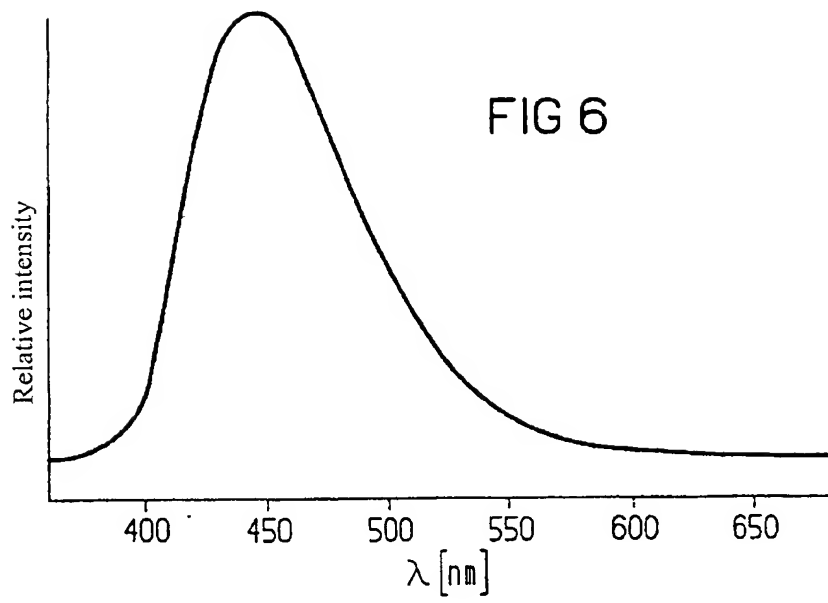
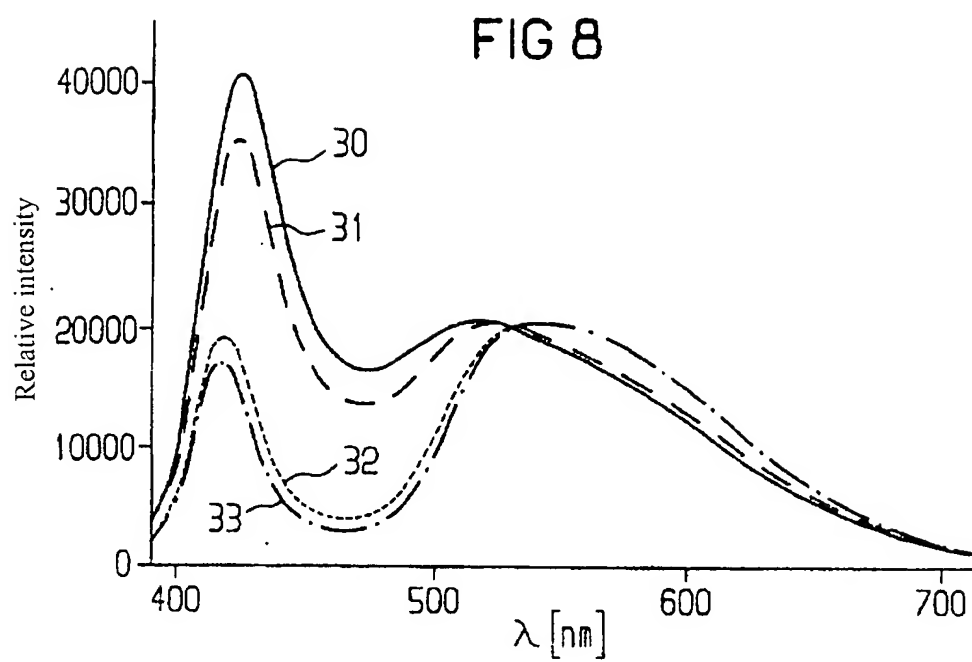
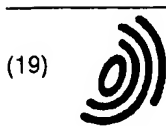


FIG 5









Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 0 862 794 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**27.11.2002 Patentblatt 2002/48**

(51) Int Cl.7: **H01L 33/00, H01S 5/32**

(21) Anmeldenummer: **97909167.5**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/DE97/02139**

(22) Anmeldetag: **22.09.1997**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 98/012757 (26.03.1998 Gazette 1998/12)**

(54) **WELLENLÄNGENKONVERTIERENDE VERGUSSMASSE UND VERFAHREN ZU DEREN HERSTELLUNG, VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINES LICHT ABSTRAHLENDEN HALBLEITERBAUELEMENTS UND LICHT ABSTRAHLENDES HALBLEITERBAUELEMENT**

**SEALING MATERIAL WITH WAVELENGTH CONVERTING EFFECT AND ITS PRODUCTION PROCESS, PROCESS OF FABRICATING A LIGHT EMITTING SEMICONDUCTOR DEVICE AND LIGHT EMITTING SEMICONDUCTOR DEVICE**

**MASSE DE SCELLEMENT A EFFET CONVERTISSEUR DE LONGUEUR D'ONDE ET PROCEDE DE SA PRODUCTION, PROCEDE DE PRODUCTION D'UN DISPOSITIF SEMI-CONDUCTEUR EMETTEUR DE LUMIERE ET DISPOSITIF SEMI-CONDUCTEUR EMETTEUR DE LUMIERE**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE ES FR GB PT SE**

(30) Priorität: **20.09.1996 DE 19638667**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**09.09.1998 Patentblatt 1998/37**

(60) Teilanmeldung:  
**02007512.3 / 1 221 724**

(73) Patentinhaber: **Osram Opto Semiconductors GmbH & Co. OHG**  
**93049 Regensburg (DE)**

(72) Erfinder:  
• **HÖHN, Klaus**  
**D-82024 Taufkirchen (DE)**

- **DEBRAY, Alexandra**  
**D-93049 Regensburg (DE)**
- **SCHLOTTER, Peter**  
**D-79113 Freiburg (DE)**
- **SCHMIDT, Ralf**  
**D-79279 Vörsstetten (DE)**
- **SCHNEIDER, Jürgen**  
**D-79199 Kirchzarten (DE)**

(74) Vertreter: **Epping, Wilhelm, Dipl.-Ing. et al**  
**Epping Hermann & Fischer**  
**Ridlerstrasse 55**  
**80339 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A- 0 936 682** **WO-A-98/05078**  
**DE-A- 3 804 293** **DE-U- 9 013 615**

**EP 0 862 794 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine wellenlängenkonvertierende Vergußmasse auf der Basis eines transparenten Epoxidgießharzes, insbesondere für die Verwendung bei einem elektrolumineszierenden Bauelement mit einem ultravioletten, blaues und/oder grünes Licht aussendenden Körper, und ein Verfahren zu deren Herstellung. Sie betrifft weiterhin ein Verfahren zum Herstellen eines lichtabstrahlenden Halbleiterbauelements und ein lichtabstrahlendes Halbleiterbauelement.

[0002] In der früher eingereichten, aber nach dem Anmeldetag dieser Anmeldung veröffentlichten internationalen Anmeldung WO-A-98/05078 (EP-A-0 936 682) mit Bestimmung EP, die Stand der Technik gemäß Artikel 54(3) und (4) EPÜ darstellt, ist ein Leuchtdiodenbauelement beschrieben, bei dem ein Leuchtdiodenchip mit einem Emissionsspektrum im ultravioletten, blauen und grünen Spektralbereich in einer transparenten Vergußmasse eingebettet ist, die anorganische Leuchstoffpigmente auf der Basis von Cer-dotiertem Yttrium-Aluminium-Granat ( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$ ) enthält.

[0003] Aus der Offenlegungsschrift DE 38 04 293 ist eine Anordnung mit einer Elektrolumineszenz- oder Laserdioden bekannt, bei der das von der Diode abgestrahlte Emissionsspektrum mittels eines mit einem fluoreszierenden, lichtwandelnden organischen Farbstoff versetzten Elements aus Kunststoff zu größeren Wellenlängen hin verschoben wird. Das von der Anordnung abgestrahlte Licht weist dadurch eine andere Farbe auf als das von der Leuchtdiode ausgesandte. Abhängig von der Art des dem Kunststoff beigefügten Farbstoffes lassen sich mit ein und demselben Leuchtdiodentyp Leuchtdiodenanordnungen herstellen, die in unterschiedlichen Farben leuchten.

[0004] In vielen potentiellen Anwendungsgebieten für Leuchtdioden, wie zum Beispiel bei Anzeigeelementen im Kfz-Armaturenbereich, Beleuchtung in Flugzeugen und Autos und bei vollfarbtauglichen LED-Displays, tritt verstärkt die Forderung nach Leuchtdiodenanordnungen auf, mit denen sich mischfarbiges Licht, insbesondere weißes Licht erzeugen läßt.

[0005] Die bislang bekannten Vergußmassen der eingangs genannten Art mit organischen Leuchstoffen zeigen bei Temperatur- und Temperatur-Feuchtebeanspruchung jedoch eine Verschiebung des Farbortes, also der Farbe des vom elektrolumineszierenden Bauelement abgestrahlten Lichtes.

[0006] In JP-07 176 794-A ist eine weißes Licht aus sendende planare Lichtquelle beschrieben, bei der an einer Stirnseite einer transparenten Platte zwei blaues Licht emittierende Dioden angeordnet sind, die Licht in die transparente Platte hinein aussenden. Die transparente Platte ist auf einer der beiden einander gegenüberliegenden Hauptflächen mit einer fluoreszierenden Substanz beschichtet, die Licht emittiert, wenn sie mit dem blauen Licht der Dioden angeregt wird. Das von der fluoreszierenden Substanz emittierte Licht hat eine

andere Wellenlänge als das von den Dioden emittierte blaue Licht. Bei diesem bekannten Bauelement ist es besonders schwierig, die fluoreszierende Substanz in einer Art und Weise aufzubringen, daß die Lichtquelle homogenes weißes Licht abstrahlt. Darüber hinaus bereitet auch die Reproduzierbarkeit in der Massenfertigung große Probleme, weil schon geringe Schichtdickenschwankungen der fluoreszierenden Schicht, z. B. aufgrund von Unebenheiten der Oberfläche der transparenten Platte, eine Änderung des Weißtones des abgestrahlten Lichtes hervorruft.

[0007] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vergußmasse der eingangs genannten Art zu entwickeln, mit der elektrolumineszierende Bauelemente hergestellt werden können, die homogenes mischfarbiges Licht abstrahlen und die eine Massenfertigung mit vertretbarem technischen Aufwand und mit weitestgehend reproduzierbarer Bauelementcharakteristik ermöglicht. Das abgestrahlte Licht soll auch bei Temperatur- und Temperatur-Feuchtebeanspruchung farbstabil sein. Desweiteren soll ein Verfahren zum Herstellen dieser Vergußmasse angegeben werden.

[0008] Diese Aufgabe wird durch eine Vergußmasse mit den Merkmalen des Anspruchs 1 beziehungsweise mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruches 9 gelöst. Ein Verfahren zum Herstellen eines lichtabstrahlenden Halbleiterbauelements und ein lichtabstrahlendes Halbleiterbauelement ist Gegenstand des Patentanspruches 20 bzw. 21.

[0009] Vorteilhafte Weiterbildungen der Vergußmasse, des Verfahrens zum Herstellen der Vergußmasse und des lichtabstrahlenden Bauelements sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 8, 10 bis 19 bzw. 22 bis 25.

[0010] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, daß im transparenten Epoxidgießharz ein anorganisch-mineralisches Leuchstoffpigmentpulver auf der Basis eines Granatwirtsgitters mit der allgemeinen Formel  $\text{A}_3\text{B}_5\text{X}_{12}$ : M dispergiert sind und daß die Leuchstoffpigmente Korngrößen  $\leq 20 \mu\text{m}$  und einen mittleren Korndurchmesser  $d_{50} \leq 5 \mu\text{m}$  aufweisen. Besonders bevorzugt liegt der mittlere Korndurchmesser  $d_{50}$  zwischen 1 und  $2 \mu\text{m}$ . Bei diesen Korngrößen können günstige Fertigungsausbeuten erhalten werden.

[0011] Anorganisch-mineralische Leuchstoffe sind vorteilhafterweise äußerst temperatur- und temperaturfeuchtestabil.

[0012] Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vergußmasse setzt sich diese zusammen aus:

- a) Epoxidgießharz  $\geq 60 \text{ Gew}\%$
- b) Leuchstoffpigmente  $\leq 25 \text{ Gew}\%$
- c) Thixotropiemittel  $\leq 10 \text{ Gew}\%$
- d) mineralischem Diffusor  $\leq 10 \text{ Gew}\%$
- e) Verarbeitungshilfsmittel  $\leq 3 \text{ Gew}\%$
- f) Hydrophobiermittel  $\leq 3 \text{ Gew}\%$
- g) Haftvermittler  $\leq 2 \text{ Gew}\%$ .

[0013] Geeignete Epoxidgießharze sind beispielsweise in der DE-OS 26 42 465 auf den Seiten 4 bis 9, insbesondere Beispiele 1 bis 4, und in der EP 0 039 017 auf den Seiten 2 bis 5, insbesondere Beispiele 1 bis 8, beschrieben.

[0014] Als Thixotropiermittel ist beispielsweise pyrogene Kieselsäure verwendet. Das Thixotropiermittel dient zur Eindickung des Epoxidgießharzes, um die Sedimentation des Leuchtpigmentpulvers zu vermindern. Für die Gießharzverarbeitung werden weiter die Fließ- und Benetzungseigenschaften eingestellt.

[0015] Als mineralischer Diffusor zur Optimierung des Leuchtbildes des Bauelements ist bevorzugt  $\text{CaF}_2$  verwendet.

[0016] Als verarbeitungshilfsmittel eignet sich beispielsweise Glykolether. Es verbessert die Verträglichkeit zwischen Epoxidgießharz und Leuchtpigmentpulver und dient damit zur Stabilisierung der Dispersion Leuchtpigmentpulver - Epoxidgießharz. Zu diesem Zweck können auch Oberflächenmodifikatoren auf Silikonbasis eingesetzt werden.

[0017] Das Hydrophobiermittel, z. B. flüssiges Silikonwachs, dient ebenfalls zur Modifikation der Pigmentoberfläche, insbesondere wird die Verträglichkeit und Benetzbarkeit der anorganischen Pigmentoberfläche mit dem organischen Harz verbessert.

[0018] Der Haftvermittler, z. B. funktionelles Alkoxysiloxan, verbessert die Haftung zwischen den Pigmenten und dem Epoxidharz im ausgehärteten Zustand der Vergußmasse. Dadurch wird erreicht, daß die Grenzfläche zwischen dem Epoxidharz und den Pigmenten z. B. bei Temperaturschwankungen nicht abreißt. Spalte zwischen dem Epoxidharz und den Pigmenten würden zu Lichtverlusten im Bauelement führen.

[0019] Das Epoxidgießharz, bevorzugt mit einem reaktiven Oxirandring, enthält vorzugsweise ein mono- und/oder ein multifunktionelles Epoxidgießharzsystem ( $\geq 80$  Gew%; z. B. Bisphenol-A-Diglycidylether), einen Reaktivverdünner ( $\leq 10$  Gew%; z. B. aromatischer Monoglycidylether), einen multifunktionellen Alkohol ( $\leq 5$  Gew%), ein Entgasungsmittel auf Silikonbasis ( $\leq 1$  Gew%) und eine Entfärbungskomponente zur Einstellung der Farbzahl ( $\leq 1$  Gew%).

[0020] Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung des Vergusses sind die Leuchtpigmente kugelförmig oder schuppenförmig. Die Neigung zur Agglomeratbildung derartiger Pigmente ist vorteilhafterweise sehr gering. Der  $\text{H}_2\text{O}$ -Gehalt liegt unter 2%.

[0021] Bei der Herstellung und Verarbeitung von Epoxidgießharzkomponenten mit anorganischen Leuchtpigmentpulvern treten im allgemeinen neben Benetzungs- auch Sedimentationsprobleme auf. Besonders Leuchtpigmentpulver mit  $d_{50} \leq 5 \mu\text{m}$  neigen stark zur Agglomeratbildung. Bei der zuletzt genannten Zusammensetzung der Vergußmasse können die Leuchtpigmente vorteilhafterweise in der oben angegebenen Korngröße im Wesentlichen agglomeratfrei und homogen in das Epoxidgießharz dispergiert wer-

den. Diese Dispersion ist auch bei längerer Lagerung der Vergußmasse stabil. Es treten im Wesentlichen keine Benetzungs- und/oder Sedimentationsprobleme auf.

[0022] Besonders bevorzugt sind als Leuchtpigmentpartikel aus der Gruppe der Ce-dotierten Granate, insbesondere YAG:Ce-Partikel verwendet. Eine vorteilhafte Dotierstoffkonzentration ist beispielsweise 1% und eine vorteilhafte Leuchtpigmentkonzentration beträgt beispielsweise 12%. Desweiteren weist das bevorzugt hochreine Leuchtpigmentpulver vorteilhafterweise einen Eisengehalt von  $\leq 5 \text{ ppm}$  auf. Ein hoher Eisengehalt führt zu hohen Lichtverlusten im Bauelement. Das Leuchtpigmentpulver ist stark abrasiv. Der Fe-Gehalt der Vergußmasse kann bei deren Herstellung daher beträchtlich ansteigen. Vorteilhaft sind Fe-Gehalte in der Vergußmasse  $< 20 \text{ ppm}$ .

[0023] Der anorganische Leuchtpigment YAG:Ce hat unter anderem den besonderen Vorteil, daß es sich hierbei um nicht lösliche Farbpigmente mit einem Brechungsindex von ca. 1,84 handelt. Dadurch treten neben der Wellenlängenkonversion Dispersion und Streueffekte auf, die zu einer guten Vermischung von blauer Diodenstrahlung und gelber Konverterstrahlung führen.

[0024] Besonders vorteilhaft ist weiterhin, dass die Leuchtpigmentkonzentration im Epoxidharz bei Verwendung von anorganischen Leuchtpigmenten nicht, wie bei organischen Farbstoffen, durch die Löslichkeit begrenzt wird.

[0025] Zur weiteren Verminderung der Agglomeratbildung können die Leuchtpigmente vorteilhafterweise mit einem Silikon-Coating versehen sein.

[0026] Bei einem bevorzugten Verfahren zum Herstellen einer erfindungsgemäßen Vergußmasse wird das Leuchtpigmentpulver vor dem Vermischen mit dem Epoxidgießharz z. B. ca. 10 Stunden bei einer Temperatur  $\geq 200^\circ\text{C}$  getempert. Dadurch kann ebenfalls die Neigung zu Agglomeratbildung verringert werden.

[0027] Alternativ oder zusätzlich kann dazu das Leuchtpigmentpulver vor dem Vermischen mit dem Epoxidgießharz in einem höher siedenden Alkohol geschlämmt und anschließend getrocknet werden. Eine weitere Möglichkeit, die Agglomeratbildung zu verringern, besteht darin, dem Leuchtpigmentpulver vor dem Vermischen mit dem Epoxidgießharz ein hydrophobierendes Silikonwachs zuzugeben. Besonders vorteilhaft ist die Oberflächenstabilisierung der Phosphore durch Erwärmen der Pigmente in Gegenwart von Glykolethern, z. B. 16 h bei  $T > 60^\circ\text{C}$ .

[0028] Zur Vermeidung störender Verunreinigungen beim Dispergieren der Leuchtpigmente, verursacht durch Abrieb, werden Reaktionsgefäße, Rühr- und Dispergiervorrichtungen sowie Walzwerke aus Glas, Korund, Carbid- und Nitridwerkstoffen sowie speziell gehärtete Stahlsorten verwendet. Agglomeratfreie Leuchtpigmentdispersionen werden auch in Ultraschallverfahren oder durch den Einsatz von Sieben und Glaskeramikkugeln erhalten.

[0029] Ein besonders bevorzugter anorganischer

Leuchtstoff zur Herstellung von weiß leuchtenden optoelektronischen Bauelementen ist der Phosphor YAG:Ce ( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ ). Dieser läßt sich auf besonders einfache Weise in herkömmlich in der LED-Technik verwendeten transparenten Epoxidgießharzen mischen. Weiterhin als Leuchtstoffe denkbar sind weitere mit Seltenen Erden dotierte Granate wie z. B.  $\text{Y}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Y}(\text{Al,Ga})_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$  und  $\text{Y}(\text{Al,Ga})_5\text{O}_{12}:\text{Tb}^{3+}$ .

[0030] Zur Erzeugung von mischfarbigem Licht eignen sich darüberhinaus besonders die mit Seltenen Erden dotierten Thiogallate wie z. B.  $\text{CaGa}_2\text{S}_4:\text{Ce}^{3+}$  und  $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Ce}^{3+}$ . Ebenso ist hierzu die Verwendung von mit Seltenen Erden dotierten Aluminaten wie z. B.  $\text{YAlO}_3:\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{YGaO}_3:\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Y}(\text{Al,Ga})\text{O}_3:\text{Ce}^{3+}$  und mit Seltenen Erden dotierten Orthosilikaten  $\text{M}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$  (M: Sc, Y, Sc) wie z. B.  $\text{Y}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$  denkbar. Bei allen Yttriumverbindungen kann das Yttrium im Prinzip auch durch Scandium oder Lanthan ersetzt werden.

[0031] Bevorzugt wird die erfindungsgemäße Vergußmasse bei einem strahlungsemitierenden Halbleiterkörper, insbesondere mit einer aktiven Halbleiterschicht oder -schichtenfolge aus  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$  oder  $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ , eingesetzt, der im Betrieb eine elektromagnetische Strahlung aus dem ultravioletten, blauen und/oder grünen Spektralbereich aussendet. Die Leuchtstoffpartikel in der Vergußmasse wandeln einen Teil der aus diesem Spektralbereich stammenden Strahlung in Strahlung mit größerer Wellenlänge um, derart, daß das Halbleiterbauelement Mischstrahlung, insbesondere mischfarbiges Licht, bestehend aus dieser Strahlung und aus Strahlung aus dem ultravioletten, blauen und/oder grünen Spektralbereich aussendet. Das heißt beispielsweise, daß die Leuchtstoffpartikel einen Teil der vom Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung spektral selektiv absorbiert und im längerwelligen Bereich emittiert. Bevorzugt weist die von dem Halbleiterkörper ausgesandte Strahlung bei einer Wellenlänge  $\lambda \leq 520 \text{ nm}$  ein relatives Intensitätsmaximum auf und liegt der von den Leuchtstoffpartikeln spektral selektiv absorbierte Wellenlängenbereich außerhalb dieses Intensitätsmaximums.

[0032] Ebenso können vorteilhafterweise auch mehrere verschiedenartige Leuchtstoffpartikelarten, die bei unterschiedlichen Wellenlängen emittieren, in der Vergußmasse dispergiert sein. Dies wird bevorzugt durch unterschiedliche Dotierungen in unterschiedlichen Wirtsgittern erreicht. Dadurch ist es vorteilhafterweise möglich, vielfältige Farbmischungen und Farbtemperaturen des vom Bauelement emittierten Lichtes zu erzeugen. Von besonderem Interesse ist dies für vollfarbtaugliche LEDs.

[0033] Bei einer bevorzugten Verwendung der erfindungsgemäßen Vergußmasse ist ein strahlungsemitierender Halbleiterkörper (z. B. ein LED-Chip) zumindest teilweise von dieser umschlossen. Die Vergußmasse ist dabei bevorzugt gleichzeitig als Bauteilumhüllung (Gehäuse) genutzt. Der Vorteil eines Halbleiterbauelements gemäß dieser Ausführungsform besteht im we-

sentlichen darin, daß zu seiner Herstellung konventionelle, für die Herstellung von herkömmlichen Leuchtdioden (z. B. Radial-Leuchtdioden) eingesetzte Produktionslinien verwendet werden können. Für die Bauteilumhüllung wird anstelle des bei herkömmlichen Leuchtdioden dafür verwendeten transparenten Kunststoffes einfach die Vergußmasse verwendet.

[0034] Mit der erfindungsgemäßen Vergußmasse kann auf einfache Weise mit einer einzigen farbigen Lichtquelle, insbesondere einer Leuchtdiode mit einem einzigen blauen Licht abstrahlenden Halbleiterkörper, mischfarbiges, insbesondere weißes Licht erzeugt werden. Um z. B. mit einem blauen Licht aussendenden Halbleiterkörper weißes Licht zu erzeugen, wird ein Teil der von dem Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung mittels anorganischer Leuchtstoffpartikel aus dem blauen Spektralbereich in den zu Blau komplementärfarbigem gelben Spektralbereich konvertiert.

[0035] Die Farbtemperatur oder Farbort des weißen Lichtes kann dabei durch geeignete Wahl des Leuchtstoffes, dessen Partikelgröße und dessen Konzentration, variiert werden. Darüber hinaus können auch Leuchtstoffmischungen eingesetzt werden, wodurch sich vorteilhafterweise der gewünschte Farbton des abgestrahlten Lichtes sehr genau einstellen läßt.

[0036] Besonders bevorzugt wird die Vergußmasse bei einem strahlungsemitierenden Halbleiterkörper verwendet, bei dem das ausgesandte Strahlungsspektrum bei einer Wellenlänge zwischen 420 nm und 460 nm, insbesondere bei 430 nm (z. B. Halbleiterkörper auf der Basis von  $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ ) oder 450 nm (z. B. Halbleiterkörper auf der Basis von  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ ) ein Intensitätsmaximum aufweist. Mit einem derartigen Halbleiterbauelement lassen sich vorteilhafterweise nahezu sämtliche Farben und Mischfarben der C.I.E.-Farbtafel erzeugen. An Stelle des strahlungsemitierenden Halbleiterkörpers aus elektrolumineszierendem Halbleitermaterial kann aber auch ein anderes elektrolumineszierendes Material, wie beispielsweise Polymermaterial, eingesetzt werden.

[0037] Besonders geeignet ist die Vergußmasse für ein lichtemittierendes Halbleiterbauelement (z. B. eine Leuchtdiode), bei dem der elektrolumineszierende Halbleiterkörper in einer Ausnehmung eines vorgefertigten eventuell bereits mit einem Leadframe versehenen Gehäuses angeordnet ist und die Ausnehmung mit der Vergußmasse versehen ist. Ein derartiges Halbleiterbauelement läßt sich in großer Stückzahl in herkömmlichen Produktionslinien herstellen. Hierzu muß lediglich nach der Montage des Halbleiterkörpers in das Gehäuse die Vergußmasse in die Ausnehmung gefüllt werden.

[0038] Ein weißes Licht abstrahlendes Halbleiterbauelement läßt sich mit der erfindungsgemäßen Vergußmasse vorteilhafterweise dadurch herstellen, daß der Leuchtstoff so gewählt wird, daß eine von dem Halbleiterkörper ausgesandte blaue Strahlung in komplementäre Wellenlängenbereiche, insbesondere Blau

und Gelb, oder zu additiven Farbtripeln, z. B. Blau, Grün und Rot umgewandelt wird. Hierbei wird das gelbe bzw. das grüne und rote Licht über die Leuchtstoffe erzeugt. Der Farbton (Farbort in der CIE-Farbtabelle) des dadurch erzeugten weißen Lichts kann dabei durch geeignete Wahl des/der Leuchtstoffes/e hinsichtlich Mischung und Konzentration variiert werden.

[0039] Um die Durchmischung der von einem elektrolumineszierenden Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung mit der vom Leuchtstoff konvertierten Strahlung und damit die Farbhomogenität des vom Bauelement abgestrahlten Lichtes zu verbessern, ist bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vergußmasse zusätzlich ein im Blauen lumineszierender Farbstoff zugefügt, der eine sogenannte Richtcharakteristik der von dem Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung abschwächt. Unter Richtcharakteristik ist zu verstehen, daß die von dem Halbleiterkörper ausgesandte Strahlung eine bevorzugte Abstrahlrichtung aufweist.

[0040] Ein weißes Licht abstrahlendes erfindungsgemäßes Halbleiterbauelement mit einem blaues Licht emittierenden elektrolumineszierenden Halbleiterkörper läßt sich besonders bevorzugt dadurch realisieren, daß dem für die Vergußmasse verwendeten Epoxidharz der anorganische Leuchtstoff YAG:Ce ( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ ) beigemischt ist. Ein Teil einer von dem Halbleiterkörper ausgesandten blauen Strahlung wird von dem anorganischen Leuchtstoff  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$  in den gelben Spektralbereich und somit in einen zur Farbe Blau komplementärfarbigem Wellenlängenbereich verschoben. Der Farbton (Farbort in der CIE-Farbtabelle) des weißen Lichts kann dabei durch geeignete Wahl der Farbstoffkonzentration variiert werden.

[0041] Der Vergußmasse können zusätzlich lichtstreuende Partikel, sogenannte Diffusoren zugesetzt sein. Hierdurch läßt sich vorteilhafterweise der Farbeindruck und die Abstrahlcharakteristik des Halbleiterbauelements weiter optimieren.

[0042] Mit der erfindungsgemäßen Vergußmasse kann vorteilhafterweise auch eine von einem elektrolumineszierenden Halbleiterkörper neben der sichtbaren Strahlung ausgesandte ultraviolette Strahlung in sichtbares Licht umgewandelt werden. Dadurch wird die Helligkeit des vom Halbleiterkörper ausgesandten Lichts deutlich erhöht.

[0043] Ein besonderer Vorteil von erfindungsgemäßes weißes Licht abstrahlenden Halbleiterbauelementen, bei denen als Lumineszenzkonversionsfarbstoff insbesondere YAG:Ce verwendet ist, besteht darin, daß dieser Leuchtstoff bei Anregung mit blauem Licht eine spektrale Verschiebung von ca. 100 nm zwischen Absorption und Emission bewirkt. Dies führt zu einer wesentlichen Reduktion der Reabsorption des vom Leuchtstoff emittierten Lichtes und damit zu einer höheren Lichtausbeute. Außerdem besitzt YAG:Ce vorteilhafterweise eine hohe thermische und photochemische (z. B. UV-) Stabilität (wesentlich höher als organische

Leuchtstoffe), so daß auch Weiß leuchtende Dioden für Außenanwendung und/oder hohe Temperaturbereiche herstellbar sind.

[0044] YAG:Ce hat sich bislang hinsichtlich Reabsorption, Lichtausbeute, thermischer und photochemischer Stabilität und Verarbeitbarkeit als am besten geeigneter Leuchtstoff herausgestellt. Denkbar ist jedoch auch die Verwendung von anderen Ce-dotierten Phosphoren, insbesondere Ce-dotierten Granattypen.

[0045] Die Wellenlängenkonversion der Primärstrahlung wird durch die Kristallfeldaufspaltung der aktiven Übergangsmetallzentren im Wirtsgitter bestimmt. Durch die Substitution von Y durch Gd und/oder Lu bzw. Al durch Ga im  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ -Granatgitter können die Emissionswellenlängen in unterschiedlicher Weise verschoben werden, wie außerdem durch die Art der Dotierung. Durch die Substitution von  $\text{Ce}^{3+}$ -Zentren durch  $\text{Eu}^{3+}$  und/oder  $\text{Cr}^{3+}$  können entsprechende Shifts erzeugt werden. Entsprechende Dotierungen mit  $\text{Nd}^{3+}$  und  $\text{Er}^{3+}$  ermöglichen sogar aufgrund der größeren Ionenradien und damit geringeren Kristallfeldaufspaltungen Iremittierende Bauelemente.

[0046] Weitere Merkmale, Vorteile und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von zwei Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Figuren 1 bis 8. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Schnittansicht eines ersten Halbleiterbauelements mit einer erfindungsgemäßen Vergußmasse;

Figur 2 eine schematische Schnittansicht eines zweiten Halbleiterbauelements mit einer erfindungsgemäßen Vergußmasse;

Figur 3 eine schematische Schnittansicht eines dritten Halbleiterbauelements mit einer erfindungsgemäßen Vergußmasse;

Figur 4 eine schematische Schnittansicht eines vierten Halbleiterbauelements mit einer erfindungsgemäßen Vergußmasse;

Figur 5 eine schematische Schnittansicht eines fünften Halbleiterbauelements mit einer erfindungsgemäßen Vergußmasse;

Figur 6 eine schematische Darstellung eines Emissionsspektrums eines blaues Licht abstrahlenden Halbleiterkörpers mit einer Schichtenfolge auf der Basis von GaN;

Figur 7 eine schematische Darstellung der Emissionsspektren zweier Halbleiterbauelemente mit einer erfindungsgemäßen Vergußmasse, die weißes Licht abstrahlen, und

Figur 8 eine schematische Darstellung der Emissionsspektren von weiteren Halbleiterbauelementen, die weißes Licht abstrahlen.

[0047] In den verschiedenen Figuren sind gleiche bzw. gleichwirkende Teile immer mit denselben Bezugszeichen bezeichnet.

[0048] Bei dem lichtemittierenden Halbleiterbauele-



ment von Figur 1 ist der Halbleiterkörper 1 mittels eines elektrisch leitenden Verbindungsmittels, z. B. ein metallisches Lot oder ein Klebstoff, mit seinem Rückseitenkontakt 11 auf einem ersten elektrischen Anschluß 2 befestigt. Der Vorderseitenkontakt 12 ist mittels eines Bonddrahtes 14 mit einem zweiten elektrischen Anschluß 3 verbunden.

[0049] Die freien Oberflächen des Halbleiterkörpers 1 und Teilbereiche der elektrischen Anschlüsse 2 und 3 sind unmittelbar von einer gehärteten, wellenlängenkonvertierenden Vergußmasse 5 umschlossen. Diese weist bevorzugt auf: Epoxidgießharz 80 - 90 Gew%, Leuchtstoffpigmente (YAG:Ce)  $\leq$  15 Gew%, Diethylenglycolmonomethylether  $\leq$  2 Gew%, Tegopren 6875-45  $\leq$  2 Gew%, Aerosil 200  $\leq$  5 Gew%.

[0050] Das in Figur 2 dargestellte Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements unterscheidet sich von dem der Figur 1 dadurch, daß der Halbleiterkörper 1 und Teilbereiche der elektrischen Anschlüsse 2 und 3 anstatt von einer wellenlängenkonvertierenden Vergußmasse von einer transparenten Umhüllung 15 umschlossen sind. Diese transparente Umhüllung 15 bewirkt keine Wellenlängenänderung der von dem Halbleiterkörper 1 ausgesandten Strahlung und besteht beispielsweise aus einem in der Leuchtdiodentechnik herkömmlich verwendeten Epoxid-, Silikon- oder Acrylatharz oder aus einem anderen geeigneten strahlungsdurchlässigen Material wie z. B. anorganisches Glas.

[0051] Auf diese transparente Umhüllung 15 ist eine Schicht 4 aufgebracht, die aus einer wellenlängenkonvertierenden Vergußmasse, wie in der Figur 2 dargestellt, die gesamte Oberfläche der Umhüllung 15 bedeckt. Ebenso denkbar ist, daß die Schicht 4 nur einen Teilbereich dieser Oberfläche bedeckt. Die Schicht 4 besteht beispielsweise aus einem transparenten Epoxidharz, das mit Leuchtstoffpartikeln 6 versetzt ist. Auch hier eignet sich als Leuchtstoff für ein weiß leuchtendes Halbleiterbauelement bevorzugt YAG:Ce.

[0052] Bei dem in Figur 3 dargestellten besonders bevorzugten mit der erfindungsgemäßen Vergußmasse versehenen Bauelement, sind der erste und zweite elektrische Anschluß 2,3 in ein lichtundurchlässiges evtl. vorgefertigtes Grundgehäuse 8 mit einer Ausnehmung 9 eingebettet. Unter "vorgefertigt" ist zu verstehen, daß das Grundgehäuse 8 bereits an den Anschlüssen 2,3 beispielsweise mittels Spritzguß fertig ausgebildet ist, bevor der Halbleiterkörper auf den Anschluß 2 montiert wird. Das Grundgehäuse 8 besteht beispielsweise aus einem lichtundurchlässigen Kunststoff und die Ausnehmung 9 ist hinsichtlich ihrer Form als Reflektor 17 für die vom Halbleiterkörper im Betrieb ausgesandte Strahlung (ggf. durch geeignete Beschichtung der Innenwände der Ausnehmung 9) ausgebildet. Solche Grundgehäuse 8 werden insbesondere bei auf Leiterplatten oberflächenmontierbaren Leuchtdioden verwendet. Sie werden vor der Montage der Halbleiterkörper auf ein die elektrischen Anschlüsse 2,3 aufweisen-

des Leiterband (Leadframe) z. B. mittels Spritzgießen aufgebracht.

[0053] Die Ausnehmung 9 ist mit einer Vergußmasse 5, deren Zusammensetzung der oben in Verbindung mit der Beschreibung zu Figur 1 angegebenen entspricht, gefüllt.

[0054] In Figur 4 ist eine sogenannte Radialdiode dargestellt. Hierbei ist der elektrolumineszierende Halbleiterkörper 1 in einem als Reflektor ausgebildeten Teil 16 des ersten elektrischen Anschlusses 2 beispielsweise mittels Lötens oder Kleben befestigt. Derartige Gehäusebauformen sind in der Leuchtdiodentechnik bekannt und bedürfen von daher keiner näheren Erläuterung.

[0055] Die freien Oberflächen des Halbleiterkörpers 1 sind unmittelbar von einer Vergußmasse 5 mit Leuchtstoffpartikel 6 bedeckt, die wiederum von einer weiteren transparenten Umhüllung 10 umgeben ist.

[0056] Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle angemerkt, daß selbstverständlich auch bei der Bauform nach Figur 4 analog zu dem Bauelement gemäß Figur 1 eine einstückige Umhüllung, bestehend aus gehärteter Vergußmasse 5 mit Leuchtstoffpartikel 6, verwendet sein kann.

[0057] Bei dem Ausführungsbeispiel von Figur 5 ist eine Schicht 4 (mögliche Materialien wie oben angegeben) direkt auf den Halbleiterkörper 1 aufgebracht. Dieser und Teilbereiche der elektrischen Anschlüsse 2,3 sind von einer weiteren transparenten Umhüllung 10 umschlossen, die keine Wellenlängenänderung der durch die Schicht 4 hindurchgetretenen Strahlung bewirkt und beispielsweise aus einem in der Leuchtdiodentechnik verwendbaren transparenten Epoxidharz oder aus Glas gefertigt ist.

[0058] Solche, mit einer Schicht 4 versehenen Halbleiterkörper 1 ohne Umhüllung können natürlich vorteilhafterweise in sämtlichen aus der Leuchtdiodentechnik bekannten Gehäusebauformen (z. B. SMD-Gehäuse, Radial-Gehäuse (man vergleiche Figur 4) verwendet sein.

[0059] Bei sämtlichen der oben beschriebenen Bauelemente kann zur Optimierung des Farbeindrucks des abgestrahlten Lichts sowie zur Anpassung der Abstrahlcharakteristik die Vergußmasse 5, ggf. die transparente Umhüllung 15, und/oder ggf. die weitere transparente Umhüllung 10 lichtstreuende Partikel, vorteilhafterweise sogenannte Diffusoren aufweisen. Beispiele für derartige Diffusoren sind mineralische Füllstoffe, insbesondere  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$  oder  $\text{BaSO}_4$  oder auch organische Pigmente. Diese Materialien können auf einfache Weise Epoxidharzen zugesetzt werden.

[0060] In den Figuren 6, 7 und 8 sind Emissionsspektren eines blauen Licht abstrahlenden Halbleiterkörpers (Fig. 6) (Lumineszenzmaximum bei  $\lambda \sim 430 \text{ nm}$ ) bzw. von mittels eines solchen Halbleiterkörpers hergestellten Weiß leuchtenden Halbleiterbauelementen (Fig. 7 und 8) gezeigt. An der Abszisse ist jeweils die Wellenlänge  $\lambda$  in nm und auf der Ordinate ist jeweils eine relative Elektrolumineszenz(EL)-Intensität aufgetragen.

[0061] Von der vom Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung nach Figur 6 wird nur ein Teil in einen längerwelligen Wellenlängenbereich konvertiert, so daß als Mischfarbe weißes Licht entsteht. Die gestrichelte Linie 30 in Figur 7 stellt ein Emissionsspektrum von einem Halbleiterbauelement dar, das Strahlung aus zwei komplementären Wellenlängenbereichen (Blau und Gelb) und damit insgesamt weißes Licht aussendet. Das Emissionsspektrum weist hier bei Wellenlängen zwischen ca. 400 und ca. 430 nm (Blau) und zwischen ca. 550 und ca. 580 nm (Gelb) je ein Maximum auf. Die durchgezogene Linie 31 repräsentiert das Emissionsspektrum eines Halbleiterbauelements, das die Farbe Weiß aus drei Wellenlängenbereichen (additives Farbtupel aus Blau, Grün und Rot) mischt. Das Emissionsspektrum weist hier beispielsweise bei den Wellenlängen von ca. 430 nm (Blau), ca. 500 nm (Grün) und ca. 615 nm (Rot) je ein Maximum auf.

[0062] Figur 8 zeigt ein Emissionsspektrum eines Weiß leuchtendes Halbleiterbauelement, das mit einem Emissions-Spektrum gemäß Figur 6 aussendenden Halbleiterkörper versehen ist und bei dem als Leuchtstoff YAG:Ce verwendet ist. Von der vom Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung nach Figur 6 wird nur ein Teil in einen längerwelligen Wellenlängenbereich konvertiert, so daß als Mischfarbe weißes Licht entsteht. Die verschiedenartig gestrichelten Linien 30 bis 33 von Figur 8 stellen Emissionsspektren von erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementen dar, bei denen das Epoxidharz der Vergußmasse 5 unterschiedliche YAG:Ce-Konzentrationen aufweist. Jedes Emissionsspektrum weist zwischen  $\lambda = 420$  nm und  $\lambda = 430$  nm, also im blauen Spektralbereich, und zwischen  $\lambda = 520$  nm und  $\lambda = 545$  nm, also im grünen Spektralbereich, jeweils ein Intensitätsmaximum auf, wobei die Emissionsbanden mit dem längerwelligen Intensitätsmaximum zu einem großen Teil im gelben Spektralbereich liegen. Das Diagramm von Figur 8 verdeutlicht, daß bei dem erfindungsgemäßen Halbleiterbauelement auf einfache Weise durch Veränderung der Leuchtstoffkonzentration im Epoxidharz der CIE-Farbart des weißen Lichtes verändert werden kann.

[0063] Die Erläuterung der Erfindung anhand der oben beschriebenen Bauelemente ist natürlich nicht als Beschränkung der Erfindung auf diese zu betrachten. Als Halbleiterkörper, wie beispielsweise Leuchtdioden-Chips oder Laserdioden-Chips, ist beispielsweise auch eine Polymer-LED zu verstehen, die ein entsprechendes Strahlungsspektrum aussendet.

#### Patentansprüche

1. Wellenlängenkonvertierende Vergußmasse (5) auf der Basis eines transparenten Epoxidharzes für ein elektrolumineszierendes Bauelement mit einem ultraviolette, blaues und/oder grünes Licht aussendenden Körper (1), bei der im transparenten Epoxidharz ein anorganisches Leuchtstoffpigmentpulver mit Leuchtstoffpigmenten (6) aus der Gruppe der Phosphore mit der allgemeinen Formel  $A_3B_5X_{12}:M$  dispergiert ist und die Leuchtstoffpigmente Korngrößen  $\leq 20 \mu m$  und einen mittleren Korndurchmesser  $d_{50} \leq 5 \mu m$  aufweisen.

2. Vergußmasse nach Anspruch 1, bei der die Leuchtstoffpigmente (6) kugelförmig oder schuppenförmig sind.

3. Vergußmasse nach Anspruch 1 oder 2, bei der der mittlere Korndurchmesser  $d_{50}$  zwischen 1 und 2  $\mu m$  liegt.

4. Vergußmasse nach einem der Ansprüche 1 bis 3, die zusammengesetzt ist aus:

- a) Epoxidharz  $\geq 60$  Gew%
- b) Leuchtstoffpigmente  $> 0$  und  $\leq 25$  Gew%
- c) Thixotropiermittel  $> 0$  und  $\leq 10$  Gew%
- d) mineralischem Diffusor  $> 0$  und  $\leq 10$  Gew%
- e) Verarbeitungshilfsmittel  $> 0$  und  $\leq 3$  Gew%
- f) Hydrophobiermittel  $> 0$  und  $\leq 3$  Gew%
- g) Haftvermittler  $> 0$  und  $\leq 2$  Gew%.

5. Vergußmasse nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der als Leuchtstoffpigmente Partikel aus der Gruppe der Ce-dotierten Granate verwendet sind.

6. Vergußmasse nach Anspruch 5, bei der als Leuchtstoffpigmente YAG:Ce-Partikel verwendet sind.

7. Vergußmasse nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei der der Eisengehalt  $\leq 20$  ppm ist.

8. Vergußmasse nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei der die Leuchtstoffpigmente (6) mit einem Silikon-Coating versehen sind.

9. Verfahren zum Herstellen einer Vergußmasse für ein lichtabstrahlendes Bauelement mit einem ultraviolette, blaues oder grünes Licht aussendenden Körper (1), bei dem in ein transparentes Epoxidharz ein anorganisches Leuchtstoffpigmentpulver dispergiert wird, mit Leuchtstoffpigmenten (6) aus der Gruppe der Phosphore mit der allgemeinen Formel  $A_3B_5X_{12}:M$ , die Korngrößen  $\leq 20 \mu m$  und einen mittleren Korndurchmesser  $d_{50} \leq 5 \mu m$  aufweisen.

10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem das Leuchtstoffpigmentpulver vor dem Vermischen mit dem Epoxidharz bei einer Temperatur  $\geq 200^\circ C$  getempert wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, bei dem das Leuchtstoffpigmentpulver vor dem Vermischen mit dem Epoxidharz in einem höher siedenden Alkohol

geschlämmt und anschließend getrocknet wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, bei dem dem Leuchtstoffpigmentpulver vor dem Vermischen mit dem Epoxidharz ein hydrophobierendes Silikonwachs zugegeben wird. 5
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, bei dem das Leuchtstoffpigmentpulver mit Alkoholen, Glykolethern und Silikonen im Epoxidharz bei erhöhten Temperaturen oberflächenmodifiziert wird. 10
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 13, bei dem kugelförmige oder schuppenförmige Leuchtstoffpigmente (6) verwendet werden. 15
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 14, bei dem Leuchtstoffpigmente verwendet werden, deren mittlerer Korndurchmesser  $d_{50}$  zwischen 1 und 2  $\mu\text{m}$  liegt. 20
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 15, bei dem
  - a) Epoxidharz  $\geq 60$  Gew%
  - b) Leuchtstoffpigmente  $> 0$  und  $\leq 25$  Gew%
  - c) Thixotropiermittel  $> 0$  und  $\leq 10$  Gew%
  - d) mineralischem Diffusor  $> 0$  und  $\leq 10$  Gew%
  - e) Verarbeitungshilfsmittel  $> 0$  und  $\leq 3$  Gew%
  - f) Hydrophobiermittel  $> 0$  und  $\leq 3$  Gew%
  - g) Haftvermittler  $> 0$  und  $\leq 2$  Gew%
 vermischt werden.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 16, bei dem als Leuchtstoffpigmente Partikel aus der Gruppe der Ce-dotierten Granate verwendet werden. 35
18. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem als Leuchtstoffpigmente YAG:Ce-Partikel verwendet werden. 40
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 18, bei dem die Leuchtstoffpigmente (6) mit einem Silikon-Coating versehen werden. 45
20. Verfahren zum Herstellen eines lichtabstrahlenden Halbleiterbauelements, bei dem ein Halbleiterkörper (1), der eine Halbleiterschichtenfolge (7) aufweist, die geeignet ist, im Betrieb des Halbleiterbauelements elektromagnetische Strahlung aus dem ultravioletten, blauen und/oder grünen Spektralbereich auszusenden, zumindest teilweise mit einer Vergußmasse gemäß einem der Patentansprüche 1 bis 8 umschlossen wird. 50
21. Lichtabstrahlendes Halbleiterbauelement, hergestellt mit einer Vergußmasse nach einem der Ansprüche 1 bis 8 mit einem Halbleiterkörper (1), der

eine Halbleiterschichtenfolge (7) aufweist, die geeignet ist, im Betrieb des Halbleiterbauelements elektromagnetische Strahlung aus dem ultravioletten, blauen und/oder grünen Spektralbereich auszusenden, und die Leuchtstoffpigmente einen Teil der aus diesem Spektralbereich stammenden Strahlung in Strahlung mit größerer Wellenlänge umwandelt, derart, daß das Halbleiterbauelement Mischstrahlung, insbesondere mischfarbiges Licht, bestehend aus dieser Strahlung und aus Strahlung aus dem ultravioletten, blauen und/oder grünen Spektralbereich aussendet.

22. Lichtabstrahlendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 21, bei dem die Vergußmasse zumindest einen Teil des Halbleiterkörpers (1) umschließt. 15
23. Lichtabstrahlendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 21 oder 22, bei dem die vom Halbleiterkörper (1) ausgesandte Strahlung im blauen Spektralbereich bei  $\lambda = 430$  nm oder bei  $\lambda = 450$  nm ein Lumineszenz-Intensitätsmaximum aufweist. 20
24. Lichtabstrahlendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 21 bis 23, bei dem der Halbleiterkörper (1) in einer Ausnehmung (9) eines lichtundurchlässigen Grundgehäuses (8) angeordnet ist und die Ausnehmung (9) zumindest teilweise mit der Vergußmasse (5) gefüllt ist. 25
25. Lichtabstrahlendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 21 bis 24, bei dem die Vergußmasse (5) hinsichtlich Wirtsgitter und Art und Ausmaß der Dotierung mit verschiedenartigen Leuchtstoffpigmenten (6) versehen ist. 30

#### Claims

1. Wavelength-converting casting compound (5) based on a transparent epoxy resin for an electroluminescent component with a body (1) emitting ultraviolet, blue and/or green light, in which an inorganic luminescent pigment powder with luminescent pigments (6) from the group of phosphors with the general formula  $A_3B_5X_{12}:M$  is dispersed in the transparent epoxy resin, and the luminescent pigments have particle sizes  $\leq 20 \mu\text{m}$  and a mean particle diameter  $d_{50} \leq 5 \mu\text{m}$ . 40
2. Casting compound according to Claim 1, in which the luminescent pigments (6) are spherical or in the form of flakes. 45
3. Casting compound according to Claim 1 or 2, in which the mean particle diameter  $d_{50}$  lies between 1 and 2  $\mu\text{m}$ . 55

4. Casting compound according to one of Claims 1 to 3, which is made up of:
  - a) epoxy resin  $\geq 60\%$  by weight
  - b) luminescent pigments  $> 0$  and  $\leq 25\%$  by weight
  - c) thixotropic agent  $> 0$  and  $\leq 10\%$  by weight
  - d) mineral diffusor  $> 0$  and  $\leq 10\%$  by weight
  - e) processing auxiliary  $> 0$  and  $\leq 3\%$  by weight
  - f) hydrophobing agent  $> 0$  and  $\leq 3\%$  by weight
  - g) adhesion promoter  $> 0$  and  $\leq 2\%$  by weight.
5. Casting compound according to one of Claims 1 to 4, in which particles from the group of Ce-doped garnets are used as luminescent pigments.
6. Casting compound according to Claim 5, in which YAG:Ce particles are used as luminescent pigments.
7. Casting compound according to one of Claims 1 to 6, in which the iron content is  $\leq 20$  ppm.
8. Casting compound according to one of Claims 1 to 7, in which the luminescent pigments (6) are provided with a silicone coating.
9. Method for producing a Casting compound for a light-emitting component with a body (1) emitting ultraviolet, blue or green light, in which an inorganic luminescent pigment powder is dispersed in a transparent epoxy resin, with luminescent pigments (6) from the group of phosphors with the general formula  $A_3B_5X_{12}:M$  which have particle sizes  $\leq 20$   $\mu\text{m}$  and a mean particle diameter  $d_{50} \leq 5$   $\mu\text{m}$ .
10. Method according to Claim 9, in which the luminescent pigment powder is heat-treated at a temperature  $\geq 200^\circ\text{C}$  before mixing with the epoxy resin.
11. Method according to Claim 9 or 10, in which the luminescent pigment powder is washed in a higher-boiling alcohol and then dried before mixing with the epoxy resin.
12. Method according to one of Claims 9 to 11, in which a hydrophobing silicone wax is added to the luminescent pigment powder before mixing with the epoxy resin.
13. Method according to one of Claims 9 to 12, in which the luminescent pigment powder is surface-modified with alcohols, glycol ethers and silicones in the epoxy resin at elevated temperatures.
14. Method according to one of Claims 9 to 13, in which luminescent pigments (6) which are spherical or in the form of flakes are used.
15. Method according to one of Claims 9 to 14, in which luminescent pigments whose mean particle diameter  $d_{50}$  lies between 1 and 2  $\mu\text{m}$  are used.
16. Method according to one of Claims 9 to 15, in which
  - a) epoxy resin  $\geq 60\%$  by weight
  - b) luminescent pigments  $> 0$  and  $\leq 25\%$  by weight
  - c) thixotropic agent  $> 0$  and  $\leq 10\%$  by weight
  - d) mineral diffusor  $> 0$  and  $\leq 10\%$  by weight
  - e) processing auxiliary  $> 0$  and  $\leq 3\%$  by weight
  - f) hydrophobing agent  $> 0$  and  $\leq 3\%$  by weight
  - g) adhesion promoter  $> 0$  and  $\leq 2\%$  by weight
 are mixed.
17. Method according to one of Claims 9 to 16, in which particles from the group of Ce-doped garnets are used as luminescent pigments.
18. Method according to Claim 17, in which YAG:Ce particles are used as luminescent pigments.
19. Method according to one of Claims 9 to 18, in which the luminescent pigments (6) are provided with a silicone coating.
20. Method for producing a light-emitting semiconductor component, in which a semiconductor body (1), which has a semiconductor layer sequence (7) that is suitable for emitting electromagnetic radiation from the ultraviolet, blue and/or green spectral range during operation of the semiconductor component, is at least partially encased by a casting compound according to one of Patent Claims 1 to 8.
21. Light-emitting semiconductor component, produced using a casting compound according to one of Patent Claims 1 to 8, with a semiconductor body (1), which has a semiconductor layer sequence (7) that is suitable for emitting electromagnetic radiation from the ultraviolet, blue and/or green spectral range during operation of the semiconductor component, and the luminescent pigments convert a part of the radiation coming from this spectral range into radiation with a longer wavelength, such that the semiconductor component emits mixed radiation, in particular mixed-colour light, consisting of this radiation and of radiation from the ultraviolet, blue and/or green spectral range.
22. Light-emitting semiconductor component according to Claim 21, in which the casting compound encases at least a part of the semiconductor body (1).
23. Light-emitting semiconductor component according to Claim 21 or 22, in which the radiation emitted

by the semiconductor body (1) has a luminescence-intensity maximum in the blue spectral range at  $\lambda = 430$  nm or at  $\lambda = 450$  nm.

24. Light-emitting semiconductor component according to one of Claims 21 to 23, in which the semiconductor body (1) is arranged in a recess (9) of an opaque base package (8), and the recess (9) is filled at least partially with the casting compound (5).

25. Light-emitting semiconductor component according to one of Claims 21 to 24, in which the casting compound (5) is provided with various luminescent pigments (6) that differ with respect to host lattice and type and level of the doping.

#### Revendications

1. Composition (5) de scellement à effet convertisseur de longueur d'onde à base d'une résine époxyde transparente pour un composant électroluminescent, ayant un corps (1) émettant de la lumière ultraviolette bleue et/ou verte, dans laquelle il est dispersé dans la résine époxyde transparente une poudre de pigment minéral luminescent ayant des pigments (6) luminescents du groupe composé des substances fluorescentes de formule générale  $A_3B_5X_{12} \cdot M$  et les pigments luminescents ont des granulométries  $\leq 20$   $\mu m$  et un diamètre moyen de grains  $d_{50} \leq 5$   $\mu m$ .

2. Composition de scellement suivant la revendication 1, dans laquelle les pigments (6) luminescents sont en forme de sphères ou en forme d'écailles.

3. Composition de scellement suivant la revendication 1 ou 2, dans laquelle le diamètre moyen de grains  $d_{50}$  est compris entre 1 et 2  $\mu m$ .

4. Composition de scellement suivant l'une des revendications 1 à 3 qui est composée de :

- a) d'une résine époxyde  $\geq 60$  % en poids
- b) de pigments luminescents  $> 0$  et  $\leq 25$  % en poids
- c) d'un agent thixotrope  $> 0$  et  $\leq 10$  % en poids
- d) d'un diffuseur minéral  $> 0$  et  $\leq 10$  % en poids
- e) d'un adjuvant de traitement  $> 0$  et  $\leq 3$  % en poids
- f) d'un agent hydrophobe  $> 0$  et  $\leq 3$  % en poids
- g) d'un agent adhésif  $> 0$  et  $\leq 2$  % en poids.

5. Composition de scellement suivant l'une des revendications 1 à 4, dans laquelle il est utilisé comme pigments luminescents des particules du groupe des grenats dopées par du Ce.

6. Composition de scellement suivant la revendication 5, dans laquelle il est utilisé comme pigments luminescents des particules de YAG:Ce.

7. Composition de scellement suivant l'une des revendications 1 à 6, dans laquelle la teneur en fer est  $\leq 20$  ppm.

8. Composition de scellement suivant l'une des revendications 1 à 7, dans laquelle les pigments (6) luminescents sont munis d'un enrobage de silicone.

9. Procédé de préparation d'une composition de scellement pour un composant émettant de la lumière et comprenant un corps (1) émettant de la lumière ultraviolette bleue ou verte, dans lequel on disperse dans une résine époxyde transparente une poudre minérale de pigment luminescent ayant des pigments (6) luminescents choisis dans le groupe des substances fluorescentes de formule générale  $A_3B_5X_{12} \cdot M$ , qui ont des granulométries  $\leq 20$   $\mu m$  et un diamètre moyen de grain  $d_{50} \leq 5$   $\mu m$ .

10. Procédé suivant la revendication 9, dans lequel on traite thermiquement la poudre de pigment luminescent, avant le mélange à la résine époxyde, à une température  $\geq 200^\circ C$ .

11. Procédé suivant la revendication 9 ou 10, dans lequel on met la poudre de pigment luminescent dans un alcool à haut point d'ébullition avant le mélange avec la résine époxyde et ensuite on la sèche.

12. Procédé suivant l'une des revendications 9 à 11, dans lequel on ajoute à la poudre de pigment luminescent, avant le mélange à la résine époxyde, une cire de silicone hydrophobe.

13. Procédé suivant l'une des revendications 9 à 12, dans lequel on modifie la surface de la poudre de pigment luminescent par des alcools, des étherglycols et des silicones dans la résine époxyde en procédant à des températures élevées.

14. Procédé suivant l'une des revendications 9 à 13, dans lequel on utilise des pigments (6) luminescents en forme de sphères ou en forme d'écailles.

15. Procédé suivant l'une des revendications 9 à 14, dans lequel on utilise des pigments luminescents dont le diamètre moyen de grains  $d_{50}$  est compris entre 1 et 2  $\mu m$ .

16. Procédé suivant l'une des revendications 9 à 15, dans lequel on mélange

- a) une résine époxyde  $\geq 60$  % en poids
- b) des pigments luminescents  $> 0$  et  $\leq 25$  % en

- poids
- c) un agent thixotrope  $> 0$  et  $\leq 10$  % en poids
- d) un diffuseur minéral  $> 0$  et  $\leq 10$  % en poids
- e) un adjuvant de traitement  $> 0$  et  $\leq 3$  % en poids
- f) un agent hydrophobe  $> 0$  et  $\leq 3$  % en poids
- g) un agent adhésif  $> 0$  et  $\leq 2$  % en poids.
17. Procédé suivant l'une des revendications 9 à 16, dans lequel on utilise comme pigments luminescents des particules du groupe des grenats dopées par du Ce. 10
18. Procédé suivant la revendication 17, dans lequel on utilise comme pigments luminescents des particules de YAG:Ce. 15
19. Procédé suivant l'une des revendications 9 à 18, dans lequel on munit les pigments (6) luminescents d'un enrobage de silicone. 20
20. Procédé de fabrication d'un composant à semi-conducteur émettant de la lumière, dans lequel on enrobe au moins en partie d'une masse de scellement, suivant l'une des revendications 1 à 8, un corps (1) à semi-conducteur qui a une succession (7) de couches semi-conductrices qui convient pour émettre, lorsque le composant à semi-conducteur fonctionne, un rayonnement électromagnétique dans le domaine ultraviolet, bleu et/ou vert du spectre. 25 30
21. Composant à semi-conducteur émettant de la lumière, fabriqué à l'aide d'une composition de scellement, suivant l'une des revendications 1 à 8, et comprenant un corps (1) à semi-conducteur qui a une succession (7) de couches semi-conductrices qui convient pour l'émission, lorsque le composant à semi-conducteur fonctionne, d'un rayonnement électromagnétique dans le domaine ultraviolet, bleu et/ou vert du spectre et les pigments luminescents transforment une partie du rayonnement provenant de ce domaine du spectre en rayonnement ayant des longueurs d'ondes plus grandes, de façon ce que le composant à semi-conducteur émette un rayonnement mixte, notamment de la lumière de couleur mélangée constituée de ce rayonnement et d'un rayonnement du domaine ultraviolet, bleu et/ou vert du spectre. 35 40 45
22. Composant à semi-conducteur émettant de la lumière suivant la revendication 21, dans lequel la composition de scellement entoure au moins une partie du corps (1) à semi-conducteur. 50
23. Composant à semi-conducteur émettant de la lumière suivant la revendication 21 ou 22, dans lequel le rayonnement émis par le corps (1) à semi-conducteur a un maximum d'intensité de la luminescen-

ce dans le domaine bleu du spectre à  $\lambda = 430$  nm ou à  $\lambda = 450$  nm.

24. Composant à semi-conducteur émettant de la lumière suivant l'une des revendications 21 à 23, dans lequel le corps (1) à semi-conducteur est disposé dans un évidement (9) d'un boîtier (8) de base perméable à la lumière et l'évidement (9) est rempli au moins en partie de la composition (5) de scellement. 5 10
25. Composant à semi-conducteur émettant de la lumière suivant l'une des revendications 21 à 24, dans lequel la composition (5) de scellement est munie de pigments (6) luminescents de types différents du point de vue du réseau hôte et de la nature et de l'intensité du dopage. 15 20

FIG 1

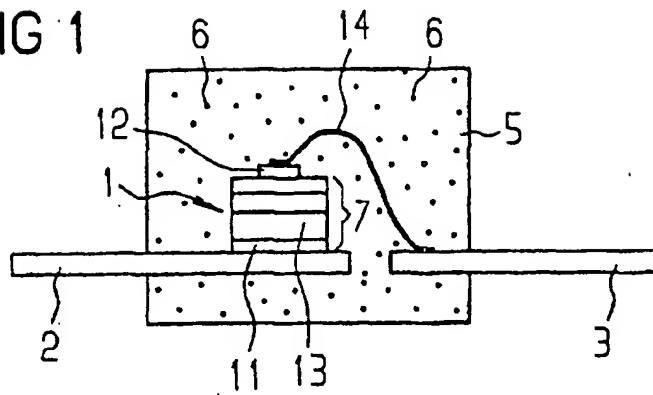


FIG 2

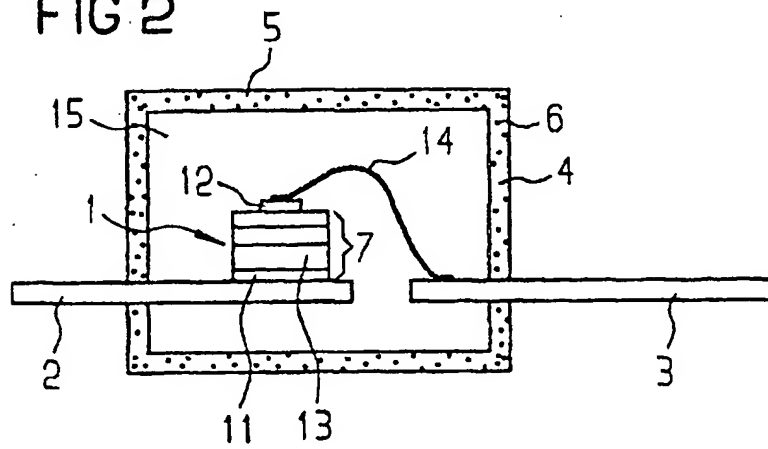


FIG 3

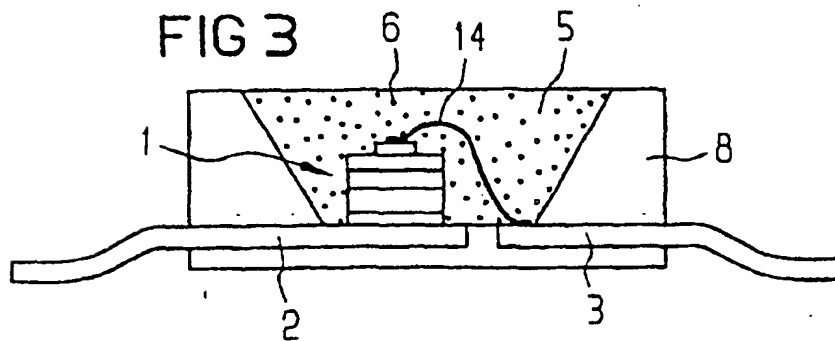


FIG 4

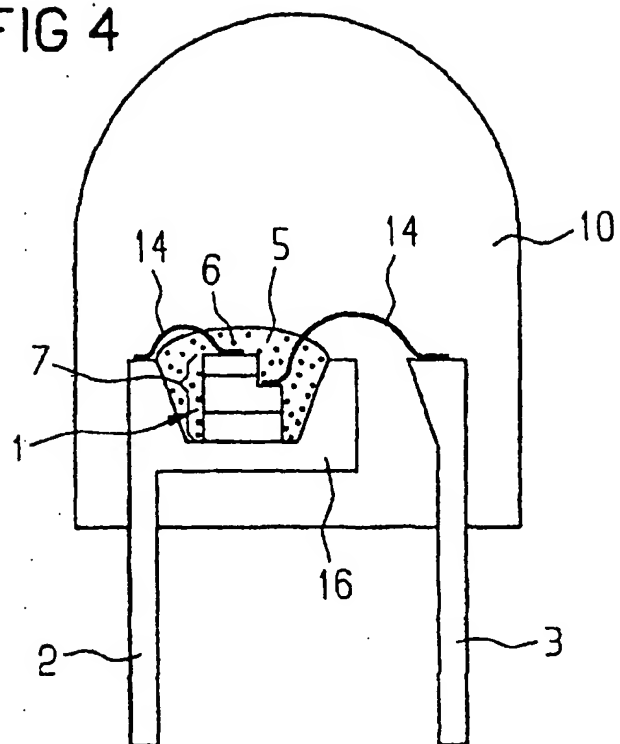
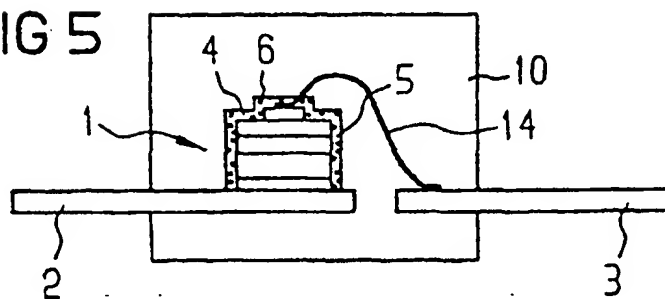
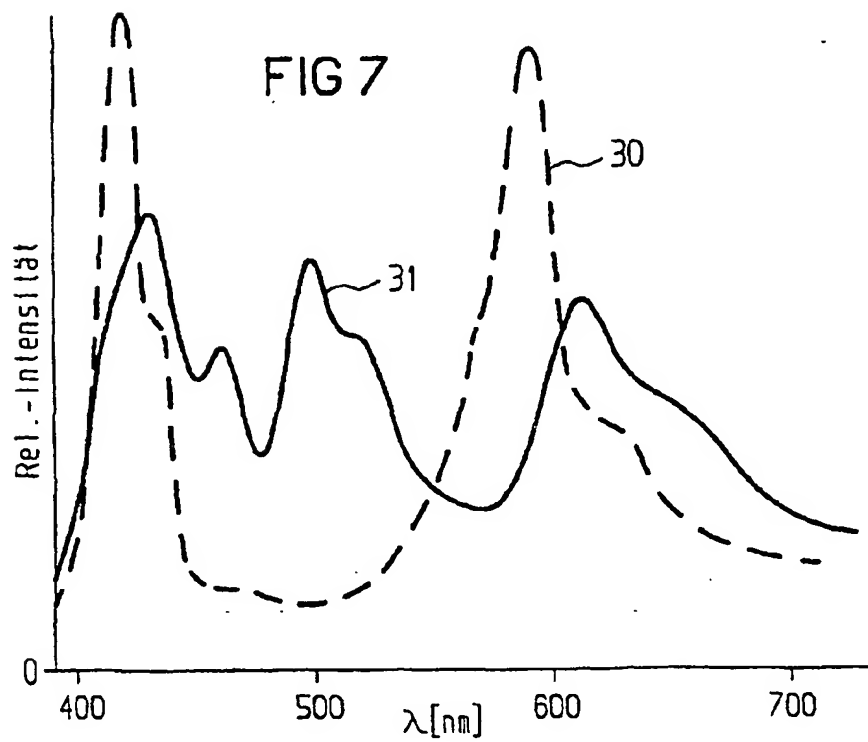
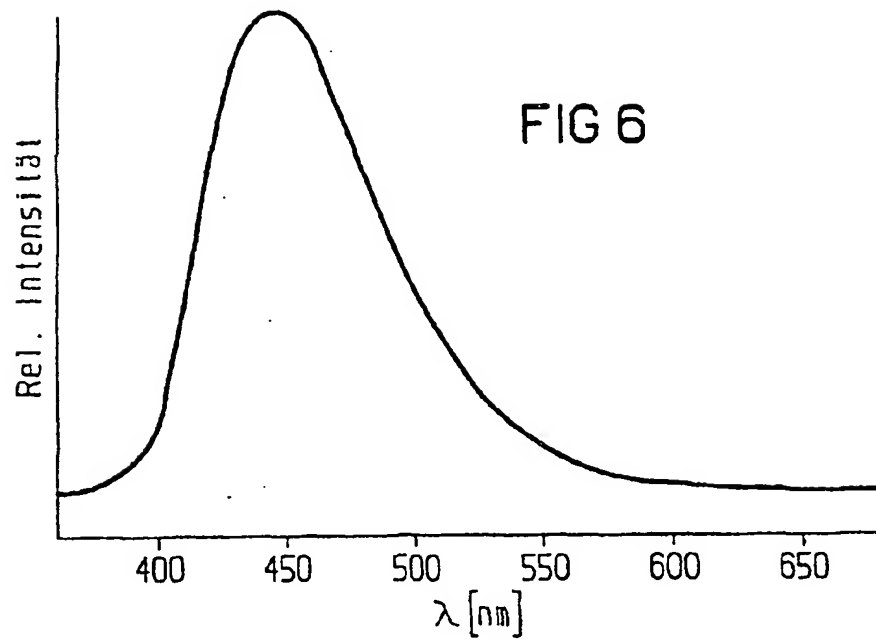
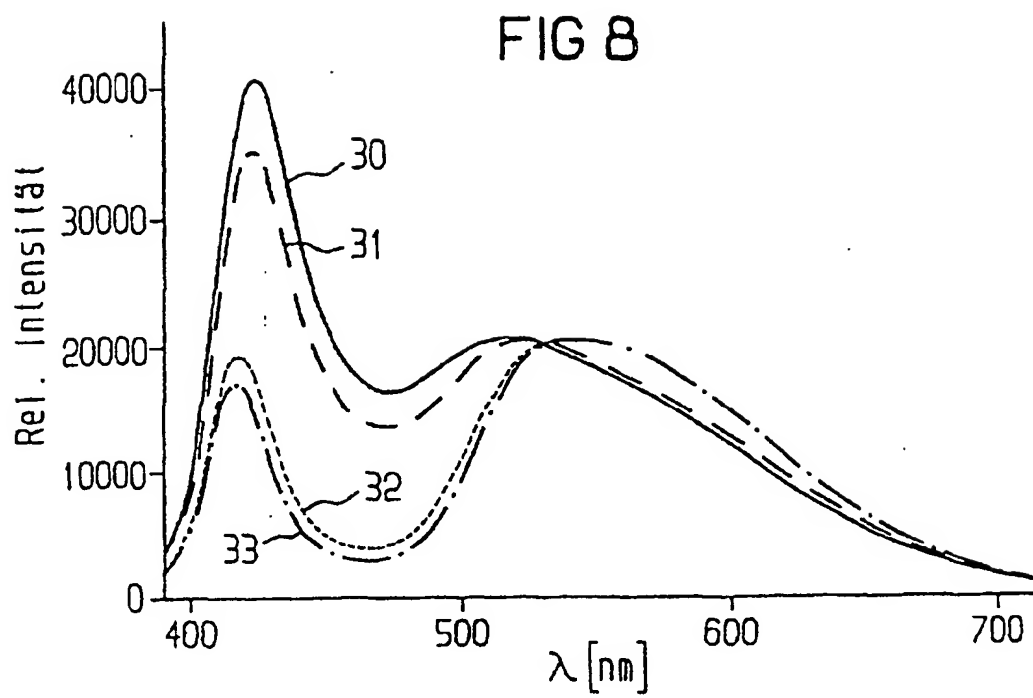


FIG 5









Translator's note re EP 0862794

1. Par. 0029:  
Presumably  $\text{Y}(\text{Al}, \text{Ga})_5$ ... should be  $\text{Y}_3(\text{Al}, \text{Ga})_5$ ...

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**